

Nuevas formas de interactividad en videojuegos: los cascos EEG



Grado en Ingeniería Multimedia

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Carlos Aniorte Llanes

Tutores:

Faraón Llorens Largo

Francisco José Gallego Durán

Septiembre 2017

Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a todo el profesorado de Ingeniería Multimedia la ayuda y el esfuerzo realizados, en particular a mis tutores Faraón y Francisco José ya que gracias a su apoyo y dedicación me ha sido posible ir desarrollando el presente trabajo.

He de mostrar además mi más sincero agradecimiento a la cátedra Santander-UA de Transformación Digital, la cual ha asumido el coste del equipamiento requerido para cumplir con los objetivos del presente trabajo y por tanto hacerlo posible.

Por otra parte, agradecer el apoyo recibido por parte de mi familia, ya que sin su inestimable ayuda no me habría sido posible la realización de estos estudios.

Finalmente, me gustaría agradecer a mi compañera sentimental Verónica el apoyo recibido durante toda la carrera ya que juntos hemos vivido esta experiencia que es estudiar un grado universitario.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a todo aquel que tenga interés por conocer el estado actual de los dispositivos de encefalografía desde un punto de interés relacionado con el desarrollo de videojuegos y sus formas de control.

Resumen

El presente documento es la memoria del trabajo de fin de grado que lleva por nombre “Nuevas formas de interactividad en videojuegos: los cascos EEG”. Ha sido realizado por Carlos Aniorte Llanes, bajo la supervisión de sus tutores Faraón Llorens Largo y Francisco José Gallego Durán durante el periodo 2016-2017.

A día de hoy, es difícil encontrar software y, más concretamente, videojuegos que sean accesibles por parte de personas con limitaciones físicas tales como las que padecen las personas con parálisis cerebral. Disfrutar de una aplicación o videojuego se convierte en una meta inalcanzable debido al diseño de las interfaces y de la interacción que requieren para su uso correcto.

Sin embargo, una limitación física o mental no debería privar a las personas de disponer y disfrutar cualquier software, todo el mundo tiene el mismo derecho a poder disfrutar, en este caso, de aplicaciones enfocadas al ocio digital.

Por esta razón este trabajo pretende investigar sobre nuevas formas de interactuar con los videojuegos y más concretamente con sus formas de interacción para que personas con parálisis cerebral sean capaces de disfrutar de aplicaciones y videojuegos que puedan utilizar y disfrutar a la vez.

Para el desarrollo de este trabajo se ha adquirido una unidad de pruebas para conocer el estado de la tecnología que se pretende investigar, en concreto los cascos de encefalografía o EEG.

Se realiza además una revisión de los hitos históricos más relevantes en lo que respecta a controladores para videojuegos y se realiza un análisis sobre cómo podría aplicarse este tipo de interfaz en un videojuego a nivel de mecánicas básicas.

Índice general

Índices

Índice general.....	vii
Índice de figuras	ix
Índice de abreviaturas.....	xi
1 Introducción	1
2 Justificación y objetivos.....	3
3 Estado del arte.....	4
3.1 Introducción.....	4
3.2 La discapacidad	5
3.2.1 La parálisis cerebral	7
3.2.2 Tipos de parálisis cerebral.....	8
3.2.3 Diagnóstico de la parálisis cerebral	9
3.2.4 Tratamiento de la parálisis cerebral no farmacológico	10
3.3 Proyectos realizados en Ingeniería Multimedia sobre PC.....	12
3.3.1 Primera iteración: Footb-all.....	12
3.3.2 Segunda iteración: Formula Chair	13
3.3.3 Tercera iteración: Fisio Run	14
3.3.4 Cuarta iteración	14
3.4 Los controladores para videojuegos.....	15
3.4.1 Hitos de los controladores para videojuegos	16
3.4.2 Reflexión sobre funcionalidad y complejidad en controladores	31
3.5 Introducción a la Encefalografía.....	32
3.5.1 Tipos de ritmos observables mediante EEG.....	33
3.5.2 Indicaciones de la EEG	35
3.5.3 Ventajas de la EEG	36
3.6 Introducción a la interfaz cerebro-computadora	37
3.7 Dispositivos BCI comerciales.....	40
3.7.1 Usos de BCI comerciales.....	40
4 Metodología	42

5	Dispositivo BCI de experimentación.....	43
5.1	Funcionamiento resumido	43
5.2	Hardware del dispositivo.....	44
5.3	Software del dispositivo	50
5.4	Puesta en funcionamiento	53
5.5	Pruebas de evaluación sobre el dispositivo.....	55
5.5.1	Pruebas relativas a los sensores EEG.....	56
5.5.2	Aciertos en las Pruebas de entrenamiento	59
5.5.3	Pruebas relativas al sensor giroscópico.....	66
5.6	Prueba de uso del SDK del dispositivo	68
5.7	Resultados de las pruebas realizadas al dispositivo	69
5.8	Análisis de mecánicas aplicables a un videojuego controlado mediante BCI .	70
6	Conclusiones y trabajos futuros	71
6.1	Revisión de los objetivos	71
6.2	Conclusiones	71
6.3	Trabajos futuros.....	72
7	Recursos	73
8	Bibliografía y referencias.....	74

Índice de figuras

Pag. 13	Figura 1. Pantalla de juego de <i>Footb-all</i> . Figura 2. Pantalla de juego de <i>Formula Chair</i> .
Pag. 14	Figura 3. Pantalla de juego de <i>Fisio Run</i> .
Pag. 15	Figura 4. Patente esquemática de un joystick de <i>Phillips Corporation</i> .
Pag. 16	Figura 5. Recreación de controladores utilizados para el videojuego <i>Tennis For Two</i> .
Pag. 17	Figura 6. Modelo 3D inspirado en los controladores originales de <i>Spacewar</i> .
Pag. 18	Figura 7. Joystick digital del Atari 2600.
Pag. 19	Figura 8. Controlador de <i>NES</i> incorporando el D-pad.
Pag. 20	Figura 9. Controlador Nintendo Zapper para <i>NES</i>
Pag. 21	Figura 10. Juego <i>Duck Hunt</i> de <i>NES</i> y recreación de fotograma excitador del fotodiodo al disparar.
Pag. 22	Figura 11. Controlador <i>Power Pad</i> para <i>NES</i> (lado A). Figura 12. Controlador <i>Power Pad</i> para <i>NES</i> (lado B).
Pag. 23	Figura 13. Interior del Joystick usado en el <i>Apple II</i> . Figura 14. Controlador de Nintendo 64 con joystick analógico (<i>Thumbstick</i>).
Pag. 24	Figura 15. Motores de vibración utilizados en controladores de videoconsolas.
Pag. 25	Figura 16. Máquina arcade <i>Speed Race</i> con volante. Figura 17. Set de volante y pedales utilizado en videojuegos.
Pag. 26	Figura 18. Videoconsola <i>Nintendo DS Lite</i> con pantalla táctil resistiva.
Pag. 27	Figura 19. Cámara <i>EyeToy</i> de la videoconsola <i>Sony Playstation 2</i> .
Pag. 28	Figura 20. Representación del mapeado del entorno realizado con Kinect.
Pag. 29	Figura 21. Barra de sensores de <i>Nintendo Wii</i> con los emisores infrarrojos.
Pag. 30	Figura 22. Interior del chip <i>Invensense MPU-6050</i> con acelerómetro y giroscopio.

Pag. 32	Figura 23. EEG de un niño con epilepsia de ausencia en picos y olas de 3Hz.
Pag. 33	Figura 24. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas alfa. Figura 25. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas beta.
Pag. 34	Figura 26. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas theta. Figura 27. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas delta. Figura 28. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas gamma.
Pag. 35	Figura 29. Máquina de encefalografía usada en centros hospitalarios.
Pag. 37	Figura 30. Dispositivo EEG utilizado en un estudio de alto rendimiento.
Pag. 39	Figura 31. Esquema de etapas de procesamiento a partir de una señal EEG.
Pag. 46	Figura 32. Imagen comercial del dispositivo BCI <i>Emotiv Insight</i> . Figura 33. Empaque de la unidad de pruebas.
Pag. 47	Figura 34. Interior del empaque. Figura 35. Instrucciones de inicio rápido bajo la tapa del empaque.
Pag. 48	Figura 36. Elementos encontrados en el empaque de la unidad de pruebas.
Pag. 49	Figura 37. Unidad de pruebas en detalle.
Pag. 50	Figura 38. Pantalla de configuración del dispositivo. Figura 39. Pantalla de comandos mentales.
Pag. 51	Figura 40. Pantalla de expresiones faciales.
Pag. 52	Figura 41. Pantalla del sensor inercial. Figura 42. Pantalla de métricas de emociones.
Pag. 54	Figura 43. Carga de la batería del dispositivo.
Pag. 55	Figura 44. Receptor USB inalámbrico del dispositivo.
Pag. 69	Figura 45. Aplicación de prueba propia sobre el sensor inercial del casco EEG.
Pag. 70	Figura 46. Consola de la aplicación de prueba propia sobre el sensor inercial del casco EEG.

Índice de abreviaturas

2D	Dos Dimensiones
3D	Tres Dimensiones
APCA	Asociación de Paralíticos Cerebrales de Alicante
BCI	Interfaz Cerebro-Computador (<i>Brain Computer Interfaces</i>)
CRT	Tubo de Rayos Catódicos (<i>Catode Ray Tube</i>)
EEG	Encefalografía
Hz	Hercio (<i>Hertz</i>)
I+D+I	Investigación, Desarrollo e Innovación
LCD	Pantalla de cristal líquido (<i>Liquid Crystal Display</i>)
LED	Diodo Emisor de Luz (<i>Light-emitting Diode</i>)
mV	Milivatio (<i>Milliwatt</i>)
NES	<i>Nintendo Entertainment System</i>
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PC	Parálisis Cerebral
SDK	Kit de Desarrollo de Software (<i>Software Development Kit</i>)
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UA	Universidad de Alicante

1 Introducción

A lo largo del último siglo y mitad del anterior hemos experimentado la evolución de lo que hoy conocemos por videojuegos. Este tipo de tecnología siempre ha ido inexorablemente ligada al progreso tecnológico experimentado en el mundo de la computación.

Este hecho ha provocado que la investigación y la ingeniería hayan ido perfeccionando la forma de interactuar con estos, desde el punto de la ergonomía hasta el de la usabilidad, haciendo que la de control del videojuego condicione las sensaciones y emociones experimentadas por el ser humano.

Las aportaciones realizadas por estos investigadores han proporcionado una evolución iterativa que cada vez permite no solo nuevas formas de interactuar, sino que además en ocasiones, hacen accesibles estos productos a colectivos de personas que por su naturaleza han visto limitada la capacidad de disfrutar de dicho producto con las opciones presentes hasta el momento.

Es por ejemplo el caso de las personas que padecen de parálisis cerebral, afección que limita su capacidad para utilizar con normalidad un controlador de videojuegos.

Las limitaciones de este tipo de colectivos son una motivación para muchos investigadores que exploran formas de hacer que, sin limitar en exceso la jugabilidad, encuentren formas de proporcionar a estas personas la posibilidad para interactuar con el videojuego en base a sus posibilidades.

Este es el caso de las iniciativas planteadas por alumnos y docentes de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, donde se ha mantenido una colaboración activa con la Asociación de Paralíticos de Alicante (APCA) y con la cátedra Santander-UA de Transformación Digital, realizando trabajos que han permitido a personas afectadas de parálisis cerebral jugar a videojuegos y en general mejorar su calidad de vida.

Como parte de la introducción del presente trabajo, se realiza a continuación un pequeño resumen de los apartados en los que se divide el documento:

- **Justificación y objetivos:** Se expresan las ideas y motivaciones que han llevado a la realización del presente trabajo.

- **Estado del arte:** Se realiza un análisis sobre la afección de la parálisis cerebral, las iniciativas previas a este trabajo y un estudio de los hitos más relevantes a nivel histórico de los controladores para videojuegos
- **Metodología:** Se explica la metodología a seguir.
- **Trabajo realizado:** Se explica el trabajo realizado, documentando la elección del dispositivo de pruebas, así como las pruebas realizadas.
- **Conclusiones y trabajos futuros:** Se exponen las conclusiones obtenidas tras haber realizado las pruebas al dispositivo y se expresan las posibilidades que puede tener el trabajo de cara a futuros proyectos.
- **Recursos:** Se explica el origen de los recursos utilizados para la realización del trabajo.
- **Bibliografía y referencias:** Se exponen las referencias sobre las cuales se ha obtenido información y citas utilizadas en el trabajo.

2 Justificación y objetivos

En repetidas ocasiones se ha demostrado que es posible reinventar la forma de interactuar con un videojuego, aportando a este mayor riqueza y posibilidades en cuanto a sus formas de control.

Generalmente, son las empresas desarrolladoras de hardware de entretenimiento las que realizan la labor de investigar nuevas formas de interactuar, sin embargo, generalmente lo hacen con el propósito de ofrecer mejoras al público general y por tanto se centran en mejorar sus controladores o diseñar nuevas interfaces basadas en lo ya existente.

Cuando se trata de colectivos como los son las personas que padecen algún tipo de discapacidad, suele ser en el ámbito universitario o en sectores especializados donde se experimenta con proyectos que pueden aportar algo a estos, como lo es el caso de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, donde año tras año se ha demostrado la inquietud por aportar nuevos proyectos en este campo. Estos tratan esencialmente de videojuegos adaptados o de iniciativas para mejorar el estado de salud de las personas con parálisis cerebral.

A partir de lo mencionado, el presente trabajo pretende recoger el testigo y en este caso, arrojar algo de luz sobre lo que podría ser una nueva vía para interactuar con un videojuego, sin la necesidad de realizar movimientos con el cuerpo.

Por tanto, el objetivo principal se basaría en obtener el hardware necesario para experimentar con él y así poder obtener unas conclusiones con las que así determinar si este tipo de interfaz podría ser viable o no en un proyecto que lo relacionara con videojuegos adaptados.

Se pretende alcanzar el propósito mencionado a través de los siguientes objetivos:

- Revisión de los hitos más relevantes en la innovación de controladores para videojuegos.
- Investigación y análisis del estado en el que se encuentra la tecnología de los cascos EEG y los dispositivos existentes en el mercado.
- Selección de un casco EEG con el que trabajar.
- Realización de pruebas sobre el casco seleccionado y obtención de conclusiones.
- Análisis de mecánicas aplicables a un videojuego controlado mediante un casco EEG.

3 Estado del arte

3.1 Introducción

La forma de interactuar entre el jugador y el juego ha sido desde siempre un elemento realmente importante además de objeto de estudio por parte de los fabricantes de sistemas de entretenimiento e instituciones universitarias.

La concepción de interfaces hombre-máquina abarca disciplinas tales como la ergonomía, la ingeniería, la psicología, el diseño y la antropología entre otras.

No obstante, tanto la usabilidad como la accesibilidad son términos que están directamente relacionados con las interfaces hombre-máquina y sobre los cuales el presente trabajo pretende investigar.

Se pretende en esta sección tratar en primer lugar la afección de la discapacidad desde el punto de la parálisis cerebral, para así entender mejor las necesidades que requieren estos usuarios.

Después, se revisarán los trabajos realizados con anterioridad por alumnos de Ingeniería Multimedia, enfocados en el desarrollo de videojuegos adaptados y en colaboración con la asociación APCA.

A continuación, se enumerarán los hechos más importantes en la historia de los controladores para videojuegos, pretendiendo así marcar una ruta con la que entender mejor el progreso evolutivo que ha experimentado la tecnología aplicada a las interfaces hombre-maquina.

Se finaliza este capítulo haciendo una reflexión sobre la relación que existe entre la funcionalidad que tiene un controlador y su complejidad asociada.

3.2 La discapacidad

La discapacidad es definida como aquella limitación que presentan algunas personas a la hora de realizar determinadas actividades y que puede estar provocada por una deficiencia física o psíquica. Esta deficiencia puede afectar al individuo desde su nacimiento o ser adquirida como consecuencia de un accidente o afección.

Existen diversos tipos de discapacidad: física, psíquica, sensorial, intelectual o mental. Cada una de ellas puede manifestarse de diferentes formas y en diferentes grados.

Extracto del informe mundial sobre la discapacidad: (OMS, 2011, pág. 7)

“La discapacidad forma parte de la condición humana: casi todas las personas sufrirán algún tipo de discapacidad transitoria o permanente en algún momento de su vida, y las que lleguen a la senilidad experimentarán dificultades crecientes de funcionamiento. La discapacidad es compleja, y las intervenciones para superar las desventajas asociadas a ella son múltiples, sistémicas y varían según el contexto.”

Ciertos tipos de discapacidad impiden que los que las padecen puedan hacer uso de la tecnología como cita el mismo documento: (OMS, 2011, pág. 10)

“Las personas con discapacidad, en comparación con las no discapacitadas, tienen tasas significativamente más bajas de uso de tecnologías de información y comunicación, y en algunos casos es posible incluso que no puedan acceder a productos y servicios tan básicos como el teléfono, la televisión o la Internet.”

De forma genérica, todos los tipos de discapacidad se basan en una o varias deficiencias funcionales o estructurales de algún órgano del cuerpo. En este sentido se entiende por deficiencia cualquier anomalía de un órgano o función propia de ese órgano con un resultado incapacitante.

En base a esta distinción básica promovida por la OMS a través de la clasificación internacional del funcionamiento, de la discapacidad y de la salud (CIF), se pueden identificar numerosas clases de deficiencia asociadas a las distintas discapacidades.

- **Discapacidad física:** Se considera que una persona tiene deficiencia física cuando padezca anomalías orgánicas en el apartado locomotor o las extremidades (cabeza, columna vertebral, extremidades superiores y extremidades inferiores). También se incluyen las deficiencias del sistema nervioso, referidas a las parálisis

de extremidades superiores e inferiores, parapléjicas y tetrapléjicas y a los trastornos de coordinación de los movimientos, entre otras. También se recogerá el subconjunto de las alteraciones viscerales, referido a los aparatos respiratorio, cardiovascular, digestivo, genitourinario, sistema endocrino-metabólico y sistema inmunitario.

- **Discapacidad mental:** El integrado por las personas con deficiencias mentales es de difícil cuantificación, entre otras razones por la falta de precisión en la determinación de sus límites.

Concretamente la EDDES (Encuesta sobre Discapacidades, Deficiencias y Estado de la Salud) incluye en la categoría de deficiencia mental el espectro del retraso mental en sus grados severo, moderado y leve, además del retraso madurativo, las demencias y otros trastornos mentales. En esta última recoge trastornos tan diversos como el autismo, las esquizofrenias, los trastornos psicóticos, somáticos y de la personalidad, entre otros.

- **Discapacidad sensorial:** La categoría incluye, para los fines de este estudio a quienes presentan trastornos relacionados con la vista, el oído y el lenguaje.

Dentro del grupo de las deficiencias sensoriales se incluyen, como se ha dicho, colectivos afectados por trastornos de distinta naturaleza. Las deficiencias auditivas presentan a su vez distintos grados, desde las hipoacusias (mala audición) de carácter leve hasta la sordera total prelocutiva y postlocutiva, y los trastornos relacionados con el equilibrio.

A estas diferencias se unen las distintas estrategias técnicas y comunicativas empleadas por quienes padecen deficiencias auditivas (lenguaje de signos, implantes cocleares o audífonos), configurando un colectivo de rasgos muy heterogéneos, tanto por sus perfiles orgánicos como por sus estrategias de integración. Este otro gran colectivo incluido en la categoría de deficiencias sensoriales lo constituyen las personas con trastornos visuales.

3.2.1 La parálisis cerebral

La parálisis cerebral no es una enfermedad específica, es un término que describe trastornos motores (del movimiento) ocasionados por el daño cerebral. No es una afección progresiva por lo que el daño no empeora gradualmente. Sin embargo, las manifestaciones podrían cambiar en el transcurso de la vida de la persona a medida que su sistema nervioso madura. Esto significa que los síntomas podrían cambiar con el paso del tiempo.

La parálisis cerebral afecta a alrededor de un niño cada 40, pero cada niño es afectado de forma diferente.

Con el apoyo de enfermeros, los que están a cargo de su cuidado y otros especialistas, la persona desde una temprana edad puede aprender a controlar sus síntomas a fin de lograr la mayor independencia posible.

Se pueden distinguir los rasgos principales:

- Es un desorden permanente, esto implica que la lesión neurológica que se ha producido es irreversible y persiste a lo largo de toda la vida.
- La alteración del sistema neuromotor influye en aspectos físicos como son la postura o el movimiento.
- La lesión no cambia, es inmutable. El daño neurológico no aumenta ni disminuye, aunque las consecuencias y los síntomas que se vayan manifestando pueden cambiar, mejorar o empeorar.
- La lesión se produce antes de que el desarrollo y crecimiento del cerebro se haya completado. Puede ocurrir durante la gestación, el parto o los tres primeros años de vida del niño o niña, ya que es en este periodo de tiempo cuando el sistema nervioso central está en plena maduración.
- La lesión también puede afectar a otras funciones como la atención, la percepción, la memoria, el lenguaje y el razonamiento. El número de funciones dañadas depende, por un lado, del lugar, tipo, localización, amplitud y disfunción de la lesión neurológica, y por el otro, por el momento en el que se produce el daño, es decir, el nivel de maduración del encéfalo.
- Además, la lesión interfiere en el desarrollo del Sistema Nervioso Central. Una vez producido el daño éste repercute en el proceso madurativo del cerebro, y por tanto, en el desarrollo del niño o niña.

3.2.2 Tipos de parálisis cerebral

Existen cuatro tipos de parálisis cerebral que causan diferentes trastornos del movimiento. Inicialmente se presenta un tipo y luego, a medida que la persona crece, otro tipo se vuelve dominante. Por ejemplo, el individuo puede ser hipotónico (flácido) poco después del nacimiento, pero más adelante puede desarrollar espasticidad (rigidez).

En algunos menores puede ser difícil determinar si la afección es parálisis cerebral o un trastorno neurológico progresivo. Esto significa que podrían pasar algunos años hasta que se pueda hacer un diagnóstico con certeza.

Es importante recordar que la afección varía de un individuo a otro y el afectado puede presentar una combinación de distintos tipos de discapacidad motriz.

- **Parálisis cerebral espástica.** Este es el tipo más común de parálisis cerebral. Espasticidad es el término médico para referirse a un determinado tipo de aumento de tono muscular que provoca rigidez muscular y afecta el movimiento. Las dificultades para mover los miembros hacen que a la persona le resulte difícil caminar, pero si su parálisis cerebral es leve, quizás esta dificultad únicamente afecte a determinadas actividades, como, por ejemplo, correr. También podría tener dificultades para formar palabras cuando habla.

La parálisis cerebral espástica puede afectar distintas áreas del cuerpo de la persona.

- **Hemiplejia** significa que la parálisis afecta una mitad del cuerpo.
- **Diplejia** significa que afecta las piernas.
- **Triplejia** significa que afecta tres de los miembros.
- **Cuadriplejia** significa que afecta los cuatro miembros.
- **Parálisis cerebral discinética (distónica o atetósica).** Este tipo de parálisis causa movimientos musculares lentos e involuntarios y movimientos bruscos que pueden ser repetitivos. La parálisis cerebral atetósica puede dificultar el habla porque a la persona le podría resultar difícil controlar la lengua, la respiración y las cuerdas vocales. Es posible que también tenga problemas de audición.
- **Parálisis cerebral atáxica.** Este tipo de parálisis cerebral puede afectar la coordinación y el equilibrio, haciendo que le resulte difícil estimar la posición del cuerpo en relación a los objetos que le rodean. También

debilita los músculos y causa temblores. Es posible que tenga dificultades para caminar derecho.

- **Parálisis cerebral hipotónica.** Hipotonía es un término médico para la disminución de tono muscular y causa flacidez. Un niño hipotónico, por ende, no se sienta sin ayuda hasta mucho más tarde en su desarrollo y tendrá dificultades para aprender a caminar.

3.2.3 Diagnóstico de la parálisis cerebral

Si se cree que la persona tiene problemas con el movimiento, debería consultarse al médico de cabecera, quien preguntará acerca de los síntomas de la persona, y le examinará. También pudiera hacerle preguntas sobre su historia clínica.

La mayoría de las personas que tienen parálisis cerebral son diagnosticados alrededor de los dos años de edad, pero la afección puede ser diagnosticada a cualquier edad. El médico monitoreará al paciente a medida que se desarrolle y crezca para descartar afecciones similares antes de hacer un diagnóstico. Pueden realizarse pruebas tales como análisis de sangre, una tomografía computerizada (CT-scan) o un estudio por imágenes de resonancia magnética (MRI-scan), para descartar otras afecciones. Esto, sin embargo, podría depender de la edad del paciente.

3.2.4 Tratamiento de la parálisis cerebral no farmacológico

En general, un equipo multidisciplinario de profesionales que trabajan en distintas áreas de la atención médica y social participa en la evaluación y cuidado del individuo. Durante la etapa de evaluación, se realiza una determinación en profundidad de las habilidades del paciente. Esto incluye una evaluación de su movimiento, capacidades, visión, audición y actividades cotidianas.

Como resultado, puede diseñarse un plan de control detallado para las necesidades y capacidades específicas. A continuación, se indican algunas de las personas que podrían participar en la evaluación y cuidado.

El médico de cabecera asesora sobre temas generales y podría ayudar a ponerse en contacto con los servicios de apoyo.

Un fisioterapeuta jugará un papel esencial en la ayuda de la persona. El fisioterapeuta monitoreará y registrará el progreso, enseñándole cómo controlar sus movimientos lo más posible. El fisioterapeuta también ayudará a reducir los movimientos anormales y brindará asesoramiento acerca de equipos que podrían ayudar en cuanto a la movilidad.

A medida que la persona crezca, la fisioterapia se concentrará en ayudarle a ser independiente y adaptarse a sus fluctuantes circunstancias para que pueda enfrentar mayores desafíos. Cuando el paciente sea remitido a servicios para adultos, el fisioterapeuta seguirá ayudando a reducir síntomas tales como los desafíos de movilidad, a medida que surjan.

Un terapeuta ocupacional evaluará cuánto la parálisis cerebral afecta su vida y recomendará actividades y equipos específicos que le ayudarán a adaptarse a las dificultades, y a maximizar su independencia.

Un terapeuta del habla y del lenguaje (un profesional de la salud que se especializa en identificar y manejar los problemas del habla y la deglución) ayudará a identificar y controlar cualquier problema de comunicación que tenga. Esto puede incluir la enseñanza del lenguaje de señas o símbolos y otros tipos de ayuda para la comunicación.

Un trabajador social de una institución pública de su localidad puede brindarle asesoramiento sobre asuntos prácticos y financieros.

Un neurólogo pediátrico (un profesional de la salud que se especializa en trastornos del sistema nervioso central en niños) podría participar en el diagnóstico inicial de la parálisis cerebral y en el monitoreo constante si este tiene epilepsia.

Un psicólogo educacional puede ayudar a manejar las dificultades de aprendizaje que la persona pueda tener. Esto puede implicar visitas periódicas para evaluar su progreso.

Fijar metas específicas para el manejo de la parálisis cerebral, acordadas entre los padres y el equipo de profesionales de atención de la salud, puede ayudar a que este obtenga la mejor atención y apoyo.

Medicamentos

A veces se usa una inyección de toxina botulínica tipo A para aliviar la rigidez muscular en personas con parálisis cerebral espástica. Esto, en general, se les da a niños de más edad que caminan en puntas de pie y tienen los músculos y tendones de la pantorrilla muy tensos. También puede usarse en brazos y manos si el puño del niño está constantemente cerrado.

Cirugía

Si la persona es menor y tiene parálisis cerebral espástica, una operación en la espalda llamada rizotomía dorsal podría ayudarle. En esta cirugía se cortan los nervios en la parte baja de la espalda para aliviar los músculos espásticos, pero este es un procedimiento complejo y solamente se realiza en circunstancias específicas, usualmente, cuando otros tratamientos (incluyendo fisioterapia y toxina botulínica) no han dado el resultado esperado. La operación podría no mejorar la movilidad en algunos niños y una vez que se realiza, no puede ser revertida. Además, también puede tener complicaciones graves.

Otro tratamiento quirúrgico es la tendonotomía, en la cual se cortan los tendones para aliviar la rigidez.

Su pediatra puede asesorarle acerca de la cirugía, y decirle si este tratamiento sería el adecuado.

3.3 Proyectos realizados en Ingeniería Multimedia sobre PC

La Universidad tiene una responsabilidad social, esto significa que tiene la obligación de actuar siempre por el bien de la sociedad. Esta actividad social se traduce en dos principalmente: actuar responsablemente como institución y transferir este deber ético a los estudiantes que educa. Otro importante aspecto de este cometido social es asegurar activamente la inclusión social de cualquier individuo, sin importar sus circunstancias. El caso paradigmático es el de la inclusión de la gente discapacitada.

El grado de Ingeniería Multimedia de la Universidad de Alicante presenta aspectos sobre la inclusión en su currículum. (Molina, Satorre, Villagrà, & Compañ, 2017, págs. 1-2)

Cada año, la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, en colaboración con la cátedra Santander-UA de Transformación Digital plantea iniciativas que apoyan estos aspectos a través de la realización de proyectos por parte de los alumnos de Ingeniería Multimedia, garantizando así la continuidad.

Estos proyectos hacen uso de una metodología iterativa, dividiendo el proceso en diferentes estados donde se realiza una planificación y se marcan unos objetivos, se realiza una implementación en base a estos y posteriormente se evalúa el resultado final. Finalmente se hace una reflexión sobre los objetivos alcanzados.

Se presentan a continuación los proyectos realizados hasta el momento presente.

3.3.1 Primera iteración: Footb-all

En la primera iteración, se desarrolló un videojuego adaptado con temática de fútbol.

Esta primera experiencia ayudó a entender el problema de realizar videojuegos accesibles para usuarios con parálisis cerebral, a identificar las principales estrategias para reducir y adaptar interacción, a usar dispositivos de interacción simple tales como interruptores mecánicos y a definir mejoras para la siguiente iteración. (Gómez Davó, 2014)



Figura 1. Pantalla de juego de Footb-all.

Fuente: <http://hdl.handle.net/10045/40272>

3.3.2 Segunda iteración: Formula Chair

La segunda iteración se dedicó a diseñar y desarrollar un videojuego sobre carreras en sillas de ruedas, un deporte que muchos jugadores hacen. También introducimos el uso de dispositivos de interacción más avanzados, Kinect, usando movimientos simples. La fase de evaluación nos hizo detectar que Kinect fue una buena elección. (Font Puig, 2015)



Figura 2. Pantalla de juego de Formula Chair

Fuente: <http://hdl.handle.net/10045/49408>

3.3.3 Tercera iteración: Fisio Run

La tercera iteración incluyó al equipo de fisioterapeutas de la asociación en el proyecto, desarrollando un nuevo juego con dos objetivos principales: servir como entretenimiento y ayudar a los fisioterapeutas a mejorar sus objetivos con los pacientes. Este juego debería usar algunos movimientos para obtener diferentes resultados, por tanto, esto ayudaba a los jugadores a distinguir diferentes movimientos. (Martínez Martínez, 2016)



Figura 3. Pantalla de juego de Fisio Run

Fuente: <http://hdl.handle.net/10045/58492>

3.3.4 Cuarta iteración

Ahora, la cuarta iteración está comenzando. La primera acción se ha hecho: Firmar un acuerdo entre instituciones. Hemos planeado dos objetivos para esta iteración:

- Desarrollar nuevos juegos, explorar nuevos dispositivos de interacción.
- Mejorar nuestras acciones de difusión dejando todo desarrollo a disposición de cualquier otra institución a través de las plataformas institucionales de la universidad.

(Molina, Satorre, Villagrà, & Compañ, 2017, pág. 16)

3.4 Los controladores para videojuegos

A través de la historia del videojuego, uno de los aspectos más importantes de las consolas de videojuegos es el controlador. Esta pieza de hardware es con la que los jugadores más interactúan y es de lejos el componente más memorable. Horas y horas se han invertido aprendiendo las complejidades del controlador -El lugar de varios botones, la distancia entre los botones para hacer más eficiente su presión y la sutileza de pulsar los botones apropiados para realizar la función deseada- para finalmente dominarlo.

Cuando se usa correctamente, el controlador provee una experiencia inmersiva donde los controles son meras extensiones de los pensamientos del jugador, en cambio cuando se usa incorrectamente, el controlador se convierte en uno de los aspectos más frustrantes de los videojuegos, provocando rabia y frustración.

Los fallos en los videojuegos se atribuyen a menudo al controlador. No hacer lo que el jugador quería hacer. Incontables controladores han sufrido el destino de ser mártires, han sido destrozados o lanzados debido a la frustración del jugador. (Lu, 2003)

Es por tanto un aspecto realmente relevante en el momento de la concepción de un sistema de videojuegos y no debería ser ignorado. De su éxito dependerá que el jugador sea capaz de vivir la experiencia en la forma que el creador ha concebido su obra.

El diseño de un controlador de videojuegos no debería tomarse a la ligera. Aparte de eliminar la barrera ente el jugador y el entorno virtual, el controlador también especifica el tipo de experiencia que el jugador tendrá definiendo que tipo de juegos son los mejores para jugar con ese diseño. (Lu, 2003)

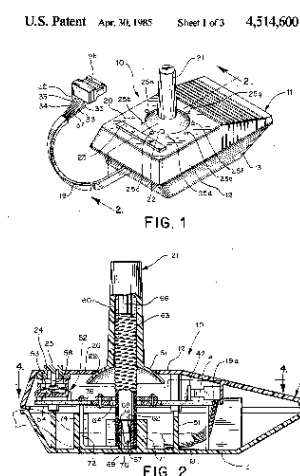


Figura 4. Patente esquemática de un joystick de Phillips Corporation.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phillips_Hand_Controller.png

3.4.1 Hitos de los controladores para videojuegos

Conforme la tecnología avanza y se experimenta con componentes electrónicos cada vez más pequeños y con más capacidades, los fabricantes de hardware para videojuegos invierten cada vez más capital en I+D+I, lo que les permite dotar a sus dispositivos y controladores de más opciones para interactuar con los videojuegos.

A continuación, se repasan los hitos más relevantes en la historia de los controladores para videojuegos destacando los adelantos tecnológicos que hacen posible su concepción.

3.4.1.1 Potenciómetros (1958)

En 1958 William Higinbotham desarrolla el que es considerado por muchos el primer videojuego de la historia. Haciendo uso de un osciloscopio, diseña un videojuego que simula un partido de tenis bautizado como *Tennis for Two*.

Para la construcción de su controlador, Higinbotham hizo uso de un potenciómetro junto con un botón. El uso de este potenciómetro permitía por ejemplo escoger el lado de la pista desde el que servir, la altura de la red o la longitud del campo de juego.

Los potenciómetros permitían introducir información con valores continuos y no simplemente valores digitales, por tanto, se obtiene un mayor rango de control.



Figura 5. Recreación de controladores utilizados para el videojuego Tennis For Two.

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/oskay/2672861537>

3.4.1.2 Conmutadores (1962)

Este controlador traza su ruta de origen en Spacewar, un videojuego desarrollado en un Digital PDP-1 por Steve Russell.

Este era básicamente una caja con dos interruptores de doble acción y un botón. Los interruptores de doble acción controlaban la rotación de la nave espacial, así como la aceleración mientras que el botón accionaba el disparo de un torpedo.

Contrariamente a lo que parecían estos controladores, estos no disponían de un Joystick ya que no estaría disponible hasta más tarde.

Dichos interruptores eran solo conmutadores que se encendían cuando eran accionados y se apagaban cuando quedaban en el centro, eran por tanto digitales. (Lu, 2003)

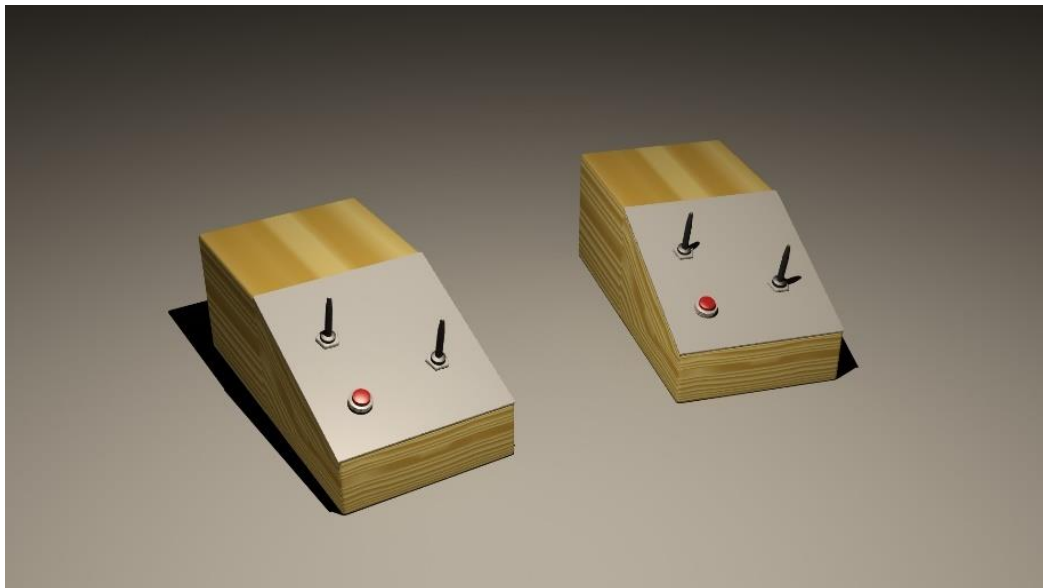


Figura 6. Modelo 3D inspirado en los controladores originales de Spacewar.

3.4.1.3 El Joystick (1977)

Con la llegada de los botones basados en conmutadores, el joystick fue lo que vendría después.

El diseño básico de un joystick genérico es bastante simple. Cuando el stick se mueve a una dirección en particular, un pequeño disco de metal hace conexión con la placa de circuitos activando el conmutador y generando una señal eléctrica que indica que el joystick se movió en esa dirección en particular. Se puede añadir un conmutador adicional para controlar el disparo. Este tipo de joysticks diseñados mediante conmutadores también eran llamados joysticks digitales.

Aunque este tipo de controladores ya eran usados años antes por miembros del ejército alemán para el control de sus misiles a distancia cerca del año 1944, no fue hasta 1977 cuando Atari desarrolla un joystick digital para su sistema de videojuegos Atari 2600, que hace uso del mismo principio.



Figura 7. Joystick digital del Atari 2600.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atari-2600-Joystick.jpg>

3.4.1.4 El Pad direccional (1985)

El pad direccional o también llamado comúnmente “cruceta”, supone el paso necesario después del joystick en la evolución del controlador. Para entender el desarrollo del pad direccional es necesario mencionar a la compañía Nintendo. Surgiendo la necesidad de mejorar el sistema *Game & Watch* de Nintendo el cual solo disponía de dos botones para controlar las direcciones del juego, el ingeniero y ejecutivo Gunpei Yokoi desarrolla lo que bautiza como *“cross-shaped, thumb-operated, micro-switched lever capable of moving in four directions and addressing up to eight”* o “D-pad”.

(Lu, 2003)

Este nuevo diseño es incorporado en el sistema de videojuegos Nintendo Entertainment System (en adelante NES). El D-pad es introducido dentro de una caja de plástico (quedando a la izquierda) en la que también se incluyen dos botones de acción para ser controlados con la mano derecha y dos botones de selección en el centro. Esta configuración sentará las bases de lo que más adelante serán constante revisiones para otros sistemas de videojuegos de la propia Nintendo y de otras compañías.



Figura 8. Controlador de NES incorporando el D-pad.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nintendo-Entertainment-System-NES-Controller-FL.jpg>

3.4.1.5 La pistola de luz (1985)

Junto con la salida de la NES, Nintendo también lanza como accesorio para dicho sistema un controlador con forma de pistola llamado *Zapper*. Dicho controlador consta de un gatillo y un fotodiodo en su interior.

Cuando se aprieta el gatillo, el juego cambia el contenido de la pantalla por un fondo de color negro durante un fotograma. En un fotograma posterior se dibuja un rectángulo blanco alrededor del sprite al que el jugador debe disparar. El fotodiodo en la abertura del cañón de la pistola envía una señal a la NES para indicar si está sobre la zona del rectángulo o no. Una disminución seguida por un aumento en la intensidad señala un acierto. Cabe mencionar que era fácil engañar al fotodiodo con fuertes fuentes de luz. (Nintendo Zapper, 2015)

Más adelante en el sistema *Super Nintendo Entertainment System*, Nintendo mejoraría este sistema haciendo uso del escaneo de las televisiones de CRT con el controlador *Super Scope*. Actualmente este sistema no funciona con televisiones LCD debido a su forma de funcionamiento.

(Super Scope, 2016)

Este controlador, aunque no era demasiado preciso ni complejo a nivel técnico supuso un importante avance en innovación ya que la forma de interactuar traspasaba la barrera psicológica que suponía el hacer algo más que pulsar botones.



Figura 9. Controlador Nintendo Zapper para NES

Fuente: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:NES-zapper.jpg>

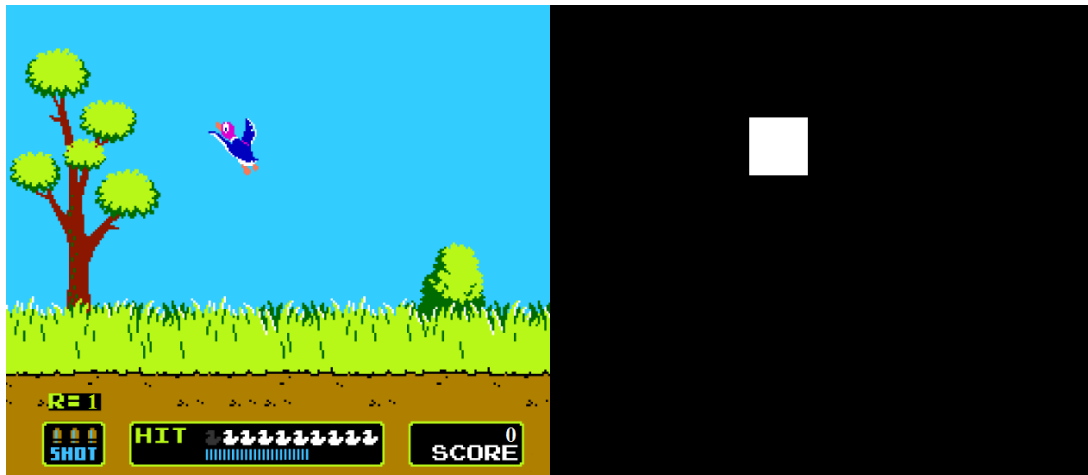


Figura 10. Juego “Duck Hunt” de NES y recreación de fotograma excitador del fotodiodo al disparar.

3.4.1.6 La alfombra (1986)

De nuevo en 1986, Se realiza una importante innovación con el desarrollo de un nuevo tipo de control. Se trata de una alfombra con doce sensores empotrados entre dos capas de plástico flexible. Originalmente este accesorio fue desarrollado por Bandai aunque Nintendo compró los derechos de la alfombra llamándola *Power Pad* como del juego *World Class Track Meet*, que era un juego en el que el jugador hacía ejercicio de forma competitiva. (Power Pad, 2016)

Lo interesante de este controlado es que, a diferencia de todos los vistos hasta ahora, en este caso no era necesario hacer uso de las manos para interactuar con el videojuego.

Más adelante se harán revisiones de este tipo de controlador en los que la disposición de los controles será diferente y el tipo de material en ocasiones será rígido, también llamados plataformas de baile.



Figura 11. Controlador Power Pad para NES (lado A).

Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:NES-power-pad.jpg>



Figura 12. Controlador Power Pad para NES (lado B).

Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:NES_Power_Pad_\(side_B\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:NES_Power_Pad_(side_B).jpg)

3.4.1.7 El stick analógico (1976)

Ya en 1976 se había usado un stick analógico para videojuegos por parte del sistema *1292 Advanced Programmable Video System*. En esencia se trataba de un stick vertical dispuesto en una caja con botones como en otros casos. Al ser analógico se podía recoger la información sobre la presión con la que se movía el stick, suponiendo una ventaja con respecto a los digitales. Con esto se conseguía mayor libertad de movimientos.

Algunos de estos joysticks volvían solos al eje central al cesar la presión y otros debían ser devueltos manualmente a tal posición.

En 1996, Nintendo fabrica un joystick analógico para el controlador de la videoconsola *Nintendo 64*, pero en este caso, el joystick es de tamaño reducido y pensado para ser usado con el pulgar izquierdo reemplazando al pad direccional. También llamado *Thumbstick*, este nuevo componente supondría el camino a seguir en cuanto a controladores para videojuegos ya que desde entonces se han realizado todo tipo de revisiones buscando una mejor calidad y ergonomía hasta llegar a la actualidad donde se siguen usando.

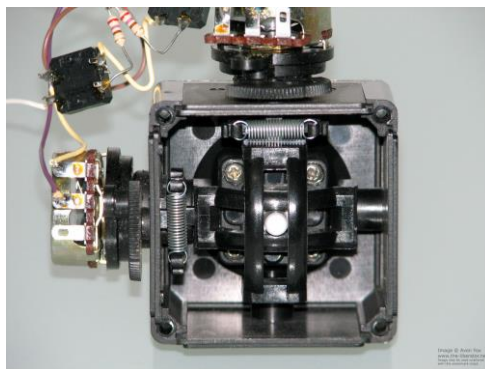


Figura 13. Interior del Joystick usado en el Apple II.

Fuente: <http://www.the-liberator.net/site-files/retro-games/hardware/Apple-ii-e-iic-joystick/apple-ii-e-iic-a2m2012-joystick.htm>



Figura 14. Controlador de Nintendo 64 con joystick analógico (Thumbstick).

Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Nintendo_64_controller#/media/File:N64-Controller-Gray.jpg

3.4.1.8 La vibración (1997)

Hasta 1997 los controladores para videoconsolas eran dispositivos que recogían las órdenes del jugador transformándolas en acciones en el videojuego, sin embargo, estos carecían de retroalimentación háptica. Es en ese año cuando Nintendo desarrolla un accesorio para el controlador de *Nintendo 64*, el *Rumble Pak*.

Dicho accesorio, dotado con un contrapeso adosado al eje de un motor era capaz de generar movimiento vibratorio que se trasladaba a todo el controlador. Por tanto, este ya no solo enviaba órdenes a la videoconsola, sino que también las recibía dotando al mismo con otro canal de información percibido por el jugador.

Dicho accesorio sentó bases y casi todos los controladores posteriores mejorarían el diseño y serían dotados de motores internos. Actualmente los dispositivos móviles también hacen uso de esta retroalimentación haciéndose indispensable en cualquier dispositivo electrónico de consumo.

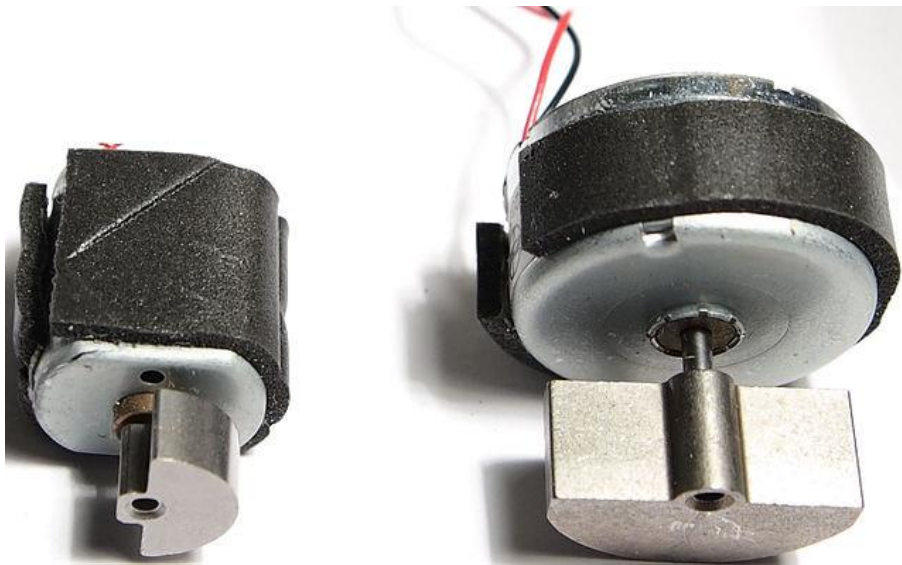


Figura 15. Motores de vibración utilizados en controladores de videoconsolas.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vibration_motors.jpg

3.4.1.9 El volante (1974)

Ya en 1974 se podía encontrar una de las primeras máquinas arcade que hacían uso de un volante, la máquina arcade *Wheels*(US).

Un volante de videojuegos es un tipo de controlador específicamente diseñado para su utilización en simuladores y videojuegos de carreras. Por lo general están formados por el volante, palanca de marchas y pedales de acelerador, freno y a veces embrague.

Este tipo de controlador permite al usuario disfrutar de una mayor precisión en la conducción, dotando al juego de mayor realismo. (Volante (videojuegos), 2016)

En la actualidad se pueden encontrar volantes que además están dotados de *force-feedback*, lo que indica que el volante podrá por ejemplo vibrar u ofrecer resistencia cuando el jugador lo usa.



Figura 16. Máquina arcade “Speed Race” con volante.

Fuente: http://www.arcade-museum.com/game_detail.php?game_id=9709



Figura 17. Set de volante y pedales utilizado en videojuegos.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LDFGT.JPG>

3.4.1.10 La pantalla táctil (2004)

Si bien es cierto que la primera videoconsola en ser dotada de una pantalla táctil fue la videoconsola portátil *Game.com* en 1994, no es hasta 2004 cuando Nintendo hace uso de una pantalla táctil en su consola portátil Nintendo DS, haciendo viable este componente a nivel de jugabilidad.

La pantalla táctil permite que el jugador pueda interactuar con los elementos visibles en la pantalla pulsando sobre ellos, arrastrándolos o incluso realizando varios toques simultáneos.

La forma de interactuar del jugador es más directa y su control basado en ver y tocar.

Más adelante la pantalla táctil es usada en otras videoconsolas portátiles y en controladores de videoconsolas tales como la *Wii U*.



Figura 18. Videoconsola Nintendo DS Lite con pantalla táctil resistiva.

Fuente: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Nintendo-ds-lite.svg>

3.4.1.11 El procesamiento de imagen (2003)

Cuando la tecnología estaba preparada y el campo del procesamiento digital de la imagen ya tenía cierto bagaje, surgen cámaras para videoconsolas capaces de captar la imagen del usuario, procesarla y mediante algoritmos y utilizar dicha información a modo de comandos de acción en el videojuego.

Si bien es cierto que la primera cámara utilizada en una videoconsola fue la *GameBoy Camera* lanzada para *GameBoy*, esta no utilizaba la imagen para controlar el videojuego. Es ya en 2003 cuando *Sony* lanza la cámara *EyeToy* para su sistema de videojuegos *Playstation 2*. Esta, junto a un videojuego es capaz de aprovechar dicho hardware, procesando la imagen capturada y mezclándola con el videojuego para introducir al jugador en el mismo. Ya en ese entorno, el jugador podía utilizar su cuerpo para interactuar con los diferentes elementos del videojuego.

Se realizaron revisiones posteriores empleando cámaras de mayor calidad y algoritmos mejorados, no obstante, la primera versión introdujo dicha tecnología en el campo de las videoconsolas domésticas.



Figura 19. Cámara EyeToy de la videoconsola Sony Playstation 2.

Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/EyeToy#/media/File:EyeToy.png>

3.4.1.12 Los infrarrojos (2006)

La tecnología infrarroja ha sido usada en videoconsolas de formas muy diferentes, entre ellas como forma de control.

Microsoft lanza en 2010 un dispositivo llamado *Kinect*. Dicho dispositivo es capaz de disparar un haz de luz infrarroja y en conjunto con un set de cámaras, este es capaz trazar un mapa del entorno, pudiendo reconocer formas y distancias. Esto junto con una serie de avanzados algoritmos, brinda la posibilidad de realizar captura de movimientos, interpretando la imagen del jugador y generando un esqueleto en tiempo real del jugador para trasladar sus movimientos al videojuego.

Por otra parte, en 2006, *Nintendo* lanza un control para su videoconsola *Wii* que utiliza los infrarrojos para controlar un puntero en pantalla a modo de mouse.

Este utilizaba una barra con un conjunto de emisores infrarrojos a los lados que se situaba junto a la televisión. Por otra parte, el control tenía un sensor de luz infrarroja de modo que, en base a la posición relativa de la barra de emisores con respecto al receptor en el control, este era capaz de utilizar dicha información como referencia espacial y así implementar un puntero en pantalla. Esto además de servir como dispositivo señalador para interactuar en los diferentes menús del sistema, era también usado para apuntar con precisión en los videojuegos de tipo shooter tal como se usa el mouse en un ordenador.



Figura 20. Representación del mapeado del entorno realizado con Kinect.

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/billautomata/8278249846>



Figura 21. Barra de sensores de Nintendo Wii con los emisores infrarrojos.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Nintendo_Wii_Sensor_Bar.jpg

3.4.1.13 Los giroscopios y acelerómetros (2007)

Los acelerómetros son componentes electrónicos capaces de medir la aceleración empleada por un movimiento en las distintas coordenadas cartesianas XYZ. Por otra parte, los giroscopios son componentes electrónicos capaces de determinar la orientación y la rotación con respecto a las mismas coordenadas, lo que permite por ejemplo orientar un objeto en un espacio virtual tridimensional.

Combinando acelerómetro y giroscopio es posible conseguir una detección más robusta del movimiento realizado. Esto supone una nueva vía para interactuar con el videojuego de forma directa y natural.

Este tipo de componentes ya habían sido usados en otros dispositivos, no necesariamente en electrónica de consumo, pero no es hasta prácticamente 2007 cuando tanto *Sony* como *Nintendo* dotan a sus controladores con este tipo de componentes. *Nintendo* incluye acelerómetros en su controlador para *Wii* y solo con este, es capaz de capturar gran cantidad de movimientos por parte del jugador, pero no es hasta 2010 cuando deciden incluir giroscopios al controlador para conseguir una detección más precisa, incluyéndolo a un accesorio llamado *Wii motion plus*, que más tarde añadirían al interior del controlador. Por otra parte, Sony en 2007 decidió dotar a su controlador de *Playstation 3* de ambos componentes y llama a esta unión *Sixaxis* haciendo referencia a los 6 ejes disponibles. (Arriba/Abajo, Izquierda/Derecha, Adelante/Atrás, Inclinación, Guiñada y Rodar)

Estos componentes también son usados en teléfonos inteligentes para orientarse en entornos virtuales tridimensionales o también controlar videojuegos. Son también componentes indispensables en dispositivos como gafas de realidad virtual o realidad aumentada debido a la necesidad de orientar la vista del usuario en el entorno virtual o en drones aéreos, los cuales requieren estabilización en el aire y necesitan información constante sobre su orientación relativa.

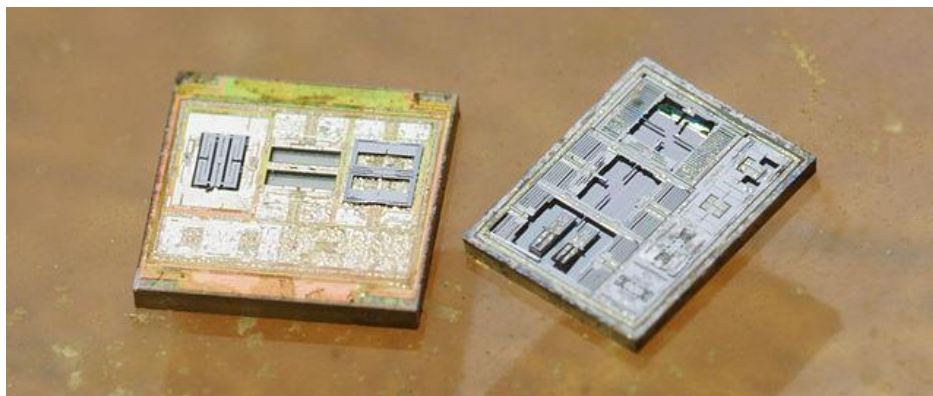


Figura 22. Interior del chip Invensense MPU-6050 con acelerómetro y giroscopio.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mpu6050-HD.jpg>

3.4.2 Reflexión sobre funcionalidad y complejidad en controladores

Generalmente, cada vez que se itera en el diseño de un controlador para videojuegos de una generación a otra, se ha tendido a añadir más formas de control, ya fueran nuevos botones, gatillos, joysticks, sensores, etc.

Este hecho dota de mayor funcionalidad al controlador, pudiendo realizar más acciones simultáneas, añadir precisión en las órdenes o incluso dotar al controlador algún tipo de respuesta háptica.

No obstante, a medida que dicho controlador se hace más funcional, también crece su complejidad de uso de forma lineal con respecto a la funcionalidad y la curva de aprendizaje por parte del usuario se hace más pronunciada.

Esto hace que algunos tipos de videojuegos, sobre todo los que explotan la riqueza de controles de estos controladores no sean un tipo de videojuego fácil de utilizar por parte de usuarios que no tienen experiencia.

Este fenómeno genera una disgregación entre usuarios ya que los usuarios que no tienen experiencia en utilizar un controlador más rico en controles tendrán la imposición de escalar la curva de aprendizaje hasta poder hacer uso de ellos. Esto da lugar a que muchos usuarios no lleguen nunca a plantearse el jugar a videojuegos.

Como ejemplo de esto, Nintendo para su sistema Wii desarrolló un controlador (Wii mote) que debido a su simplicidad en cuanto a controles era capaz de ser usado por usuarios que no requerían pasar por una gran curva de aprendizaje. Este, con respecto a los controladores que había en ese momento en el mercado por parte de la competencia suponía un importante avance con la inclusión de sensores de movimiento espacial e inercial.

A pesar de ello, muchos usuarios experimentados en el uso de controladores complejos expresaron su descontento precisamente por la falta de controles en este controlador.

Por tanto, siempre que se concibe el diseño de un nuevo controlador, será un reto que este esté equilibrado entre los compromisos de complejidad de uso y funcionalidad acorde con la complejidad del videojuego.

En este caso, queda excluida la ergonomía ya que no suele condicionar el factor de funcionalidad frente a complejidad.

3.5 Introducción a la Encefalografía

La encefalografía trata de una exploración neurofisiológica que tiene como objetivo registrar la actividad bioeléctrica cerebral en un estado de reposo, en vigilia o bien en estado de sueño. También en el caso de diversas activaciones anormales como por ejemplo Hiperpnea o epilepsia. Esta exploración se realiza mediante un equipo de encefalografía, generalmente de grado sanitario.

El sistema medirá fluctuaciones en los voltajes resultantes de la corriente entre neuronas del cerebro.

“Si bien la actividad eléctrica registrada desde la corteza cerebral de un mono se comunicó en 1875, recién en 1929 Hans Berger, psiquiatra de la University of Jena, realizó por primera vez registros en el cuero cabelludo de esta actividad en los seres humanos. Desde entonces el encefalograma, o EEG, ha recibido opiniones encontradas; para algunos es la única oportunidad para conocer el pensamiento humano y fue denigrado por otros por ser demasiado complejo, o porque resuelve poco y solo permite una mirada superficial de lo que en realidad hace el encéfalo.”

“La ventaja principal de la electroencefalografía (en adelante EEG), que comprende un conjunto de electrodos en posiciones estándar sobre el cuero cabelludo, es muy sencilla. Su limitación más grave es la resolución espacial, que permite la localización de un sitio activo solo dentro de unos pocos centímetros. Se definieron, aunque algo arbitrariamente, cuatro fenómenos EEG básicos en los seres humanos más uno que todavía es objeto de estudio.”
(Purves, 2008, pág. 744)



Figura 23. EEG de un niño con epilepsia de ausencia en picos y olas de 3Hz.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spike-waves.png>

3.5.1 Tipos de ritmos observables mediante EEG

Estos fenómenos están definidos por señales eléctricas comprendidas en frecuencias definidas y son activados mediante la Hiperpnea, la estimulación luminosa intermitente, estimulación visual, estimulación auditiva, estimulación somestésica o la estimulación nociceptiva. También forman parte de los diferentes ciclos del sueño.

3.5.1.1 Ritmo alfa

El ritmo alfa se registra en individuos despiertos con los ojos cerrados. Por definición, la frecuencia del ritmo alfa es de 8 a 13 Hz, con una amplitud de 10 a 50mV.

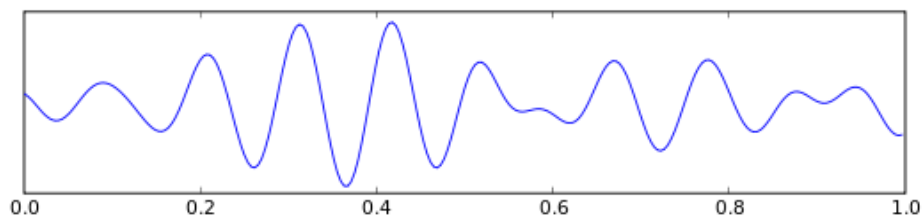


Figura 24. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas alfa.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eeg_alpha.svg

3.5.1.2 Ritmo beta

El ritmo beta de menor amplitud está definido por frecuencias de 14 a 16 Hz e indica la actividad mental y atención.

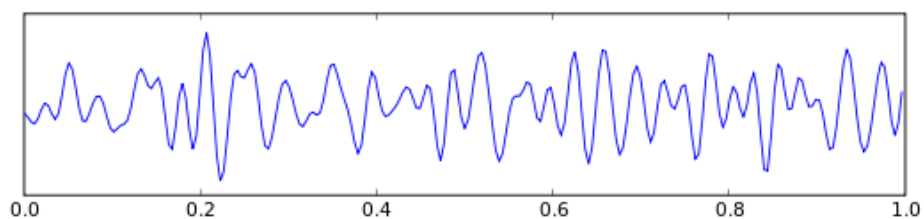


Figura 25. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas beta.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eeg_beta.svg

3.5.1.3 Ritmo theta y delta

Los ritmos theta y delta, que se caracterizan por frecuencias de 4 a 7 Hz y menos de 4 Hz, respectivamente implican somnolencia, sueño o alguno de tantos trastornos

patológicos; estas ondas lentas en los individuos normales constituyen el sello del sueño profundo no REM estadio IV.

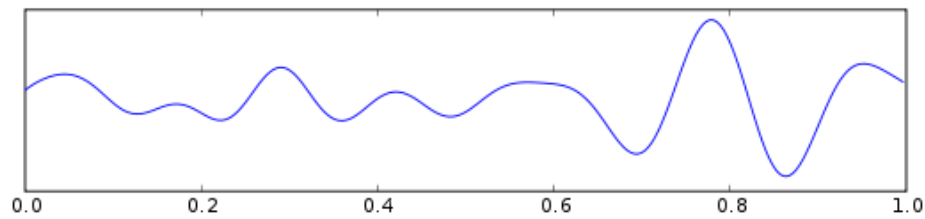


Figura 26. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas theta.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eeg_theta.svg

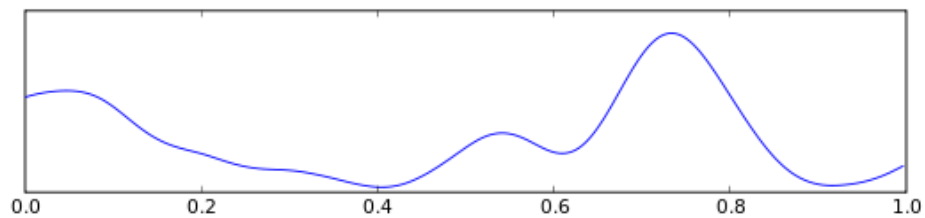


Figura 27. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas delta.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eeg_delta.svg

3.5.1.4 Ritmo Gamma

Las ondas gamma son un patrón cuyas frecuencias oscilan entre los 25 y los 100 Hz aunque su presentación más habitual es a 40 Hz. Se ha teorizado que las ondas gamma podrían estar implicadas en el proceso de percepción consciente pero no hay acuerdo unánime al respecto.

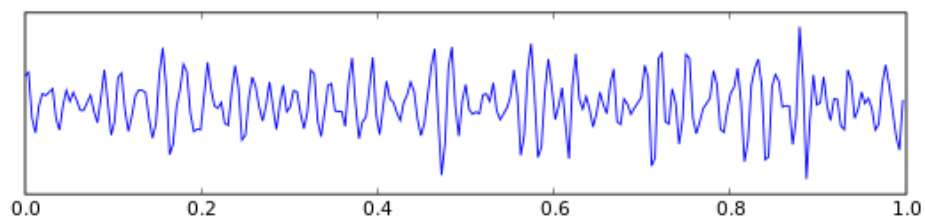


Figura 28. Muestra EEG de 1 segundo filtrando por ondas gamma.

Fuente: https://comons.wikimedia.org/wiki/File:Eeg_gamma.svg

3.5.2 Indicaciones de la EEG

El uso de la EEG se suele dar en casos como epilepsia, encefalopatía, coma, diagnóstico de muerte encefálica, tumores cerebrales, demencia, enfermedades degenerativas del sistema nervioso central, enfermedad cardiovascular, traumatismo craneoencefálico, cefalea, vértigo o trastorno psiquiátrico.

Generalmente el EEG está indicado en todo fenómeno en el que hay indicios de que la causa es de origen cerebral y en toda situación de disfunción cerebral, especialmente en su fase sintomática. (Electroencefalografía, 2016)

“El EEG se ha revelado como la prueba más cómoda (se hace en la cabecera del paciente, sin necesidad de trasladarlo), más coste-efectiva (en relación con la otra prueba confirmatoria, el angioTAC) y más rápida a la hora de confirmar el fallecimiento, además de ser una de las más seguras por su bajo índice de falsos negativos y la ausencia de falsos positivos.”

“Según el estudio de Valdecilla, el EEG ofrece el menor intervalo entre el diagnóstico clínico y el de confirmación, con una media de 5,04 horas en los pacientes sin actividad cortical, frente a las 9,50 horas de media que fueron necesarias para el diagnóstico definitivo con una segunda exploración clínica y a las 5,1 horas del angioTac. En los pacientes que mostraban actividad eléctrica tras el diagnóstico clínico, el diagnóstico definitivo con un segundo EEG se retrasó una media de 27,2 horas.” (Europa Press, 2013)

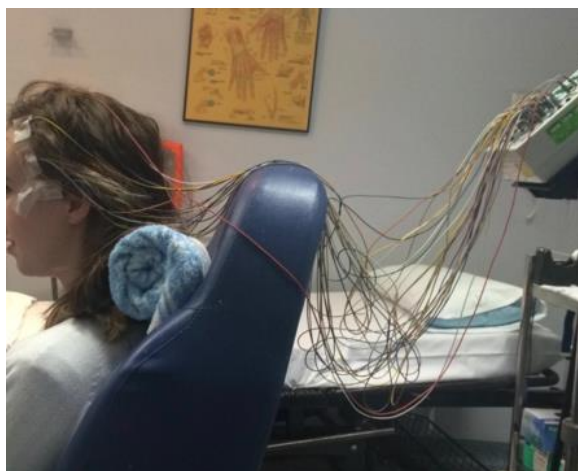


Figura 29. Máquina de encefalografía usada en centros hospitalarios.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EEG_Hospital.png

3.5.3 Ventajas de la EEG

Los dispositivos EEG se utilizan no solo en el diagnóstico de afecciones de origen cerebral, si no como objeto de investigación para mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas que requieren de necesidades especiales para comunicarse o realizar acciones cotidianas.

El envejecimiento y la demencia suelen estar cada vez más relacionados. EL incremento en la esperanza de vida de la población occidental lleva asociado un incremento progresivo de las personas en situación de dependencia.

Sociedades cada vez más envejecidas demandan nuevos tipos de soluciones para la asistencia de personas de avanzada edad que ven limitadas sus capacidades para realizar actividades cotidianas y solicitan ayuda con estas.

En estos casos, los sistemas BCI resultan de gran utilidad ya que presentan nuevas formas de interactuar con diferentes dispositivos existentes en su entorno cotidiano. Se podrían cubrir necesidades tales como la comunicación, el confort, el ocio e incluso el desplazamiento. Es por ello que estos sistemas proporcionan mayor autonomía a las personas en situación de dependencia y mejoran su calidad de vida así como su integración en la sociedad.

Generalmente, las aplicaciones están dirigidas a facilitar la comunicación, el control de sillas de ruedas o el control del entorno a nivel domótico. También se han desarrollado aplicaciones orientadas a controlar el ordenador y así poder navegar por internet.

“Las aplicaciones orientadas a facilitar la comunicación se han desarrollado a partir de sistemas BCI, que presentan al usuario las letras del abecedario en forma de matriz o de teclado de ordenador. El usuario forma palabras y frases mediante la selección de las letras que las conforman. La técnica de selección de letras y caracteres se ha implementado con sistemas BCI de varios tipos: basados en P300, en potenciales corticales lentos o en imágenes motoras. Actualmente, se está dedicando un gran interés y esfuerzo en el desarrollo de sistemas que combinen la selección de letras con la navegación por Internet, de forma que existen aplicaciones BCI para la publicación de mensajes en Twitter y navegadores BCI para la exploración de páginas web.”

(Grupo de Ingeniería Biomédica UV, 2012)

Se puede apreciar por tanto que este tipo de dispositivos ofrecen una gran herramienta tanto a profesionales como a sus pacientes.

Personas con necesidades especiales de cualquier tipo pueden beneficiarse de estos dispositivos para realizar tareas cotidianas que debido a su afección son incapaces de realizar estas tareas por si mismos, pero con la ayuda de este tipo de tecnología pueden maximizar sus posibilidades.

3.6 Introducción a la interfaz cerebro-computadora

Estas interfaces cerebro-máquina surgen del estudio, procesamiento e interpretación de la señal proveniente de un EEG por parte de un computador.

Siempre se ha deseado poder experimentar con nuestro entorno a través del pensamiento, y por tanto es un gran objeto de motivación a nivel de investigación y de tecnología. En esencia, los fundamentos de esta tecnología son sencillos: se pretende conseguir transformar el pensamiento en acciones reales.

Estas acciones pueden tener como objetivo por ejemplo hacer que se mueva un punto en una pantalla, encender una luz o dirigir una silla de ruedas.

La idea es sencilla, sin embargo, el reto tecnológico no lo es tanto dado que involucra un conjunto fuertemente multidisciplinar de conocimiento como lo es la neurociencia, la ingeniería biomédica e incluso las ciencias de la computación.

Su conjunción ha hecho posible recientemente la tecnología de interfaces BCI como soporte físico para traducir nuestras intenciones en interacción en el mundo real.



Figura 30. Dispositivo EEG utilizado en un estudio de alto rendimiento.

Fuente: https://www.flickr.com/photos/tim_uk/8135749317/

“Los sistemas BCI se pueden clasificar en dos grupos según la naturaleza de la señal de entrada: sistemas BCI endógenos y exógenos.

Los sistemas BCI endógenos dependen de la capacidad del usuario para controlar su actividad electrofisiológica, como puede ser la amplitud del EEG en una banda de frecuencia específica sobre un área concreta del córtex cerebral. Los sistemas BCI basados en imágenes motoras (ritmos sensoriomotores) o en potenciales corticales lentos (Slow Cortical Potentials, SCP) son sistemas endógenos y requieren de un período de entrenamiento intensivo. Los sistemas BCI exógenos dependen de la actividad electrofisiológica evocada por estímulos externos y no necesitan de una etapa intensiva de entrenamiento. A continuación, se describen las principales características de los sistemas exógenos basados en potenciales evocados P300 o en potenciales evocados visuales de estado estable (Steady State Visual Evoked Potentials, SSVEP).” (Grupo de Ingeniería Biomédica UV, 2012)

Para la obtención de datos a partir de un EEG es necesario pasar por diferentes etapas de procesamiento.

- **Fase de pre-procesado:** donde la señal es obtenida en crudo por parte del dispositivo. Esta se digitaliza y amplifica. También se hace imprescindible filtrar la señal ya que existe un alto nivel de ruido y este hace que la señal pueda portar artefactos que hacen difícil su interpretación tales como parpadeo, movimiento de ojos, movimientos musculares y demás fenómenos fisiológicos del cuerpo.
- **Fase de extracción y selección de características:** En esta fase se extraerán las características más relevantes del conjunto procesado, estas codificarán la interacción del usuario.
- **Fase de clasificación:** En esta última etapa, los algoritmos de clasificación traducirán el conjunto de características seleccionado en un comando concreto que representará la acción que el usuario pretende realizar.

Normalmente la señal obtenida es de tipo binaria ya que representa el hecho de hacer o no hacer algo, por ejemplo “Si/No” o “Derecha/Izquierda”.

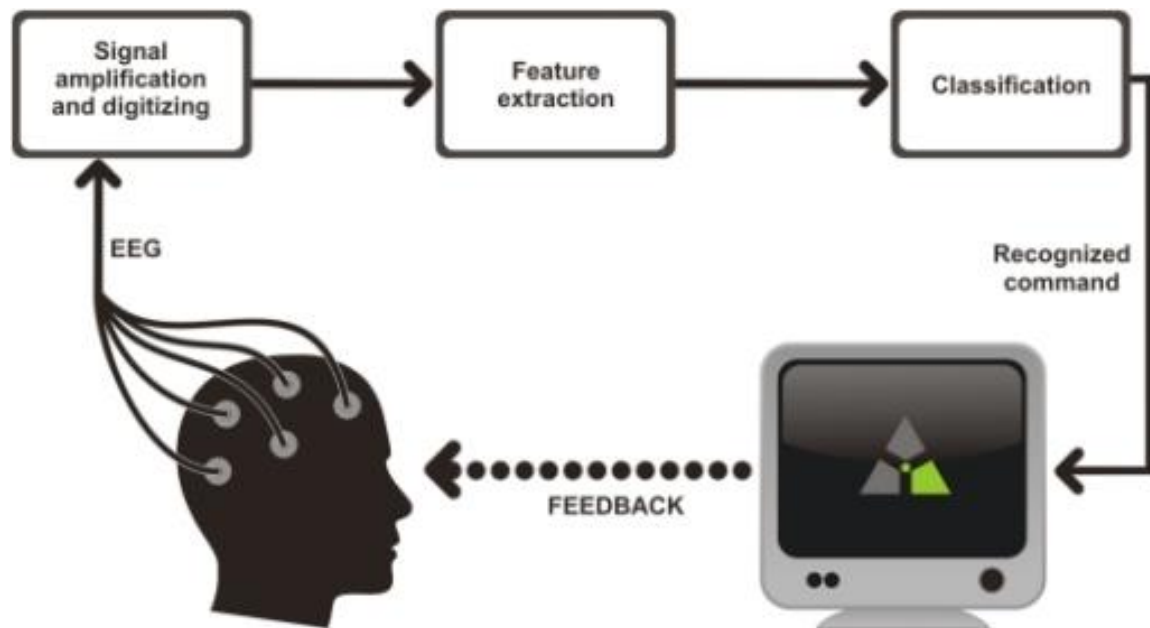


Figura 31. Esquema de etapas de procesamiento a partir de una señal EEG

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3112189_pone.0020674.g001.png

3.7 Dispositivos BCI comerciales

Debido al creciente interés de los investigadores y empresas por explorar nuevas formas de interactuar con las máquinas, existen compañías dedicadas a la investigación y posterior desarrollo de estas interfaces, como es el caso de empresas como *NeuroSky*, *Emotiv*, *GTEC*, *OCZ Technology*, *Interactive Productline* o *Xwave* entre otras.

Muchas de estas empresas basan sus activos principalmente en otro tipo de proyectos más conservadores, contemplando este tipo de dispositivos como elementos más ligados a la investigación, mientras que otras compañías se han fundado con el fin específico de investigar y potenciar estas nuevas tecnologías.

Normalmente estos dispositivos no son invasivos con el cuerpo humano y tienen forma de casco o diadema ya que han de ser colocados sobre la cabeza, debido a la cercanía con el cerebro. Estos poseen sensores que, al entrar en contacto con la piel, son capaces de recibir

“La actividad eléctrica se mide en la superficie del cuero cabelludo (electroencefalografía EEG). La señal obtenida es la superposición de todas las neuronas del cerebro (no de neuronas individuales o grupos localizados) y tiene una resolución más pobre debido a que el cráneo del usuario debilita y distorsiona las señales generadas por las neuronas.”
(Interfaz cerebro-computadora, 2017)

3.7.1 Usos de BCI comerciales

Las principales áreas de investigación relacionadas con estas tecnologías se centran en personas con discapacidad física ya que, tratándose de técnicas no invasivas, se pretende hacer uso de este tipo de dispositivos para que un discapacitado por ejemplo sea capaz de controlar una silla de ruedas haciendo solo uso de su voluntad, ya que sus capacidades cognitivas serán generalmente válidas para ello.

También se experimenta con esta tecnología en el campo de la robótica y la domótica. Dotar por ejemplo a una persona con la capacidad de dirigir un coche teledirigido o controlar una persiana o luz solo con las acciones de su mente.

Otro de los campos de investigación relacionados con dicha tecnología está relacionado con los videojuegos y el ocio.

“Un ejemplo sencillo de un dispositivo BCI en este ámbito es Mindball. Este dispositivo permite el movimiento de una pelota por un tablero y lo hace mediante la detección de relajación del usuario.”

Una segunda aplicación en este ámbito es el del movimiento de un avatar en un entorno virtual donde las señales cerebrales pueden decidir si el avatar avanza o retrocede, gira a la derecha o a la izquierda, entre otras órdenes básicas como en el caso de Second Life.

Otro tipo de interfaz, además de interpretar acciones básicas, también se basan en el estado emocional de usuario, siendo capaces de reconocer la excitación, tensión, aburrimiento, meditación, frustración, inmersión como es el caso del dispositivo Emotiv EPOC.” (Interfaz cerebro-computadora, 2017)

En el caso del presente trabajo se pretende investigar sobre la unión entre el empleo de BCI para personas con discapacidad física y el del ocio.

4 Metodología

Para llevar a cabo la obtención de conclusiones en este trabajo, se realizará una investigación de la tecnología actual disponible y se realizarán unas pruebas sobre el objeto de pruebas.

Este objeto de pruebas será un dispositivo de EEG seleccionado en base a sus especificaciones técnicas, que deberá ser compatible a nivel tecnológico con entornos de uso personal y también en el ámbito del desarrollo, puesto que, en caso de ser válido, su finalidad iría ligado a su uso en el desarrollo de videojuegos.

Una vez seleccionado, se analizarán los siguientes aspectos, que se han estimado oportunos para determinar la precisión del objeto de pruebas:

- Hardware y software relacionado con el EEG
 - Tiempo en colocar correctamente todos los electrodos a la cabeza
 - Aciertos en las Pruebas de entrenamiento
- Comandos mentales (direcciones, ejercer presión, tirar, etc.)
 - Expresiones faciales
 - Curvas de estados emocionales
- Hardware y Software relacionado con el Giroscopio
 - Aciertos en la exactitud en el reconocimiento del movimiento espacial

Por cada tipo de prueba, se tomarán muestras en las que se analizarán variables de tiempo o porcentaje y en base a esto se obtendrán conclusiones sobre la precisión de las diferentes funcionalidades del dispositivo.

5 Dispositivo BCI de experimentación

Se ha realizado un análisis sobre los diferentes dispositivos BCI comerciales disponibles actualmente en base a sus características relativas a su hardware y software.

Finalmente se ha optado por el modelo **Emotiv Insight**, que ofrece las siguientes vías de interacción:

- Datos extraídos de los sensores EEG
 - Comandos mentales
 - Expresiones faciales
 - Curvas de estado emocional
- Datos extraídos de los sensores giroscópicos
 - Posicionamiento en un espacio tridimensional

5.1 Funcionamiento resumido

El dispositivo ha de colocarse en la cabeza, poniendo sus electrodos en contacto con el cuero cabelludo para registrar las señales generadas por el cerebro a través del cráneo.

Dicho dispositivo funciona en conjunto con un equipo informático y un software que permite filtrar e interpretar las señales cerebrales y utilizarlas como fuente de datos.

El software también permite que el usuario registre sus propios patrones mentales, ya que esto es necesario para enlazar señales con pensamientos.

Una vez se conocen los patrones individuales del usuario y el dispositivo dispone de datos en tiempo real, el software puede interpretar las acciones que el usuario pretende realizar.

5.2 Hardware del dispositivo

A continuación, en la Tabla 1 se muestran las características técnicas del dispositivo.

Tabla 1: Características técnicas de Emotiv Insight.

Marca	Emotiv (https://www.emotiv.com)
Modelo	Insight
Contador de sensores	5+2 referencias
Sensores	AF3, AF4, T7, T8, Pz
Referencias (CMS/DRL)	Proceso de Mastoideo Izquierdo
Tasa de muestreo	28 muestras por segundo / canal
Calidad del sensor	Monitor CQ en tiempo real (patentado)
Respuesta de frecuencia	0.5 – 43 Hz
Resolución	14 bits por canal
Resolución LSB	0.51 μ V @ 14 bit
Rango dinámico	\pm 4.17 mV
Tecnología del sensor	Polímero semi-seco de alta duración
Sensores de movimiento	9 ejes: <ul style="list-style-type: none">• 3x Giroscopio• 3x Acelerómetro• 3x Magnetómetro
Conectividad	<ul style="list-style-type: none">• Tecnología inalámbrica propia 2.4 GHz (Receptor USB personalizado)• Bluetooth® SMART 4.0 LE
Autonomía	Batería de polímeros de litio de 480 mAh 8 horas usando Wireless propietario 4 horas usando Bluetooth® SMART
Detecciones	Expresiones faciales: <ul style="list-style-type: none">• Parpadeo

- Guiño ojo derecho
- Guiño ojo izquierdo
- Fruncir el ceño
- Sorpresa
- Sonreír
- Mueca de apretar dientes

Estados emocionales:

- Excitación instantánea
- Excitación a largo plazo
- Estrés
- Compromiso
- Relajación
- Interés / Afinidad
- Atención
- Comandos mentales a entrenar:
- Neutral
- Empujar
- Tirar
- Soltar
- Izquierda
- Derecha
- Rotar en el sentido horario
- Rotar en sentido anti-horario
- Rotar adelante
- Rotar atrás
- Rotar izquierda
- Rotar derecha
- Desaparecer

Plataformas compatibles

- Windows Vista, 7, 8, 10
- Linux (Ubuntu, Fedora)
- Mac OS X
- iOS 5+
- Android 4.4.3+ (excluido Android 5.0)

En la **figura 32** se puede apreciar una imagen comercial del dispositivo.



Figura 32. Imagen comercial del dispositivo BCI Emotiv Insight.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Emotiv_insight.png

A continuación, se muestran unas fotografías tomadas a la unidad de pruebas adquirida.



Figura 33 Empaque de la unidad de pruebas.



Figura 34. Interior del empaque.

El dispositivo está bien protegido mediante un material que amortigua de golpes.

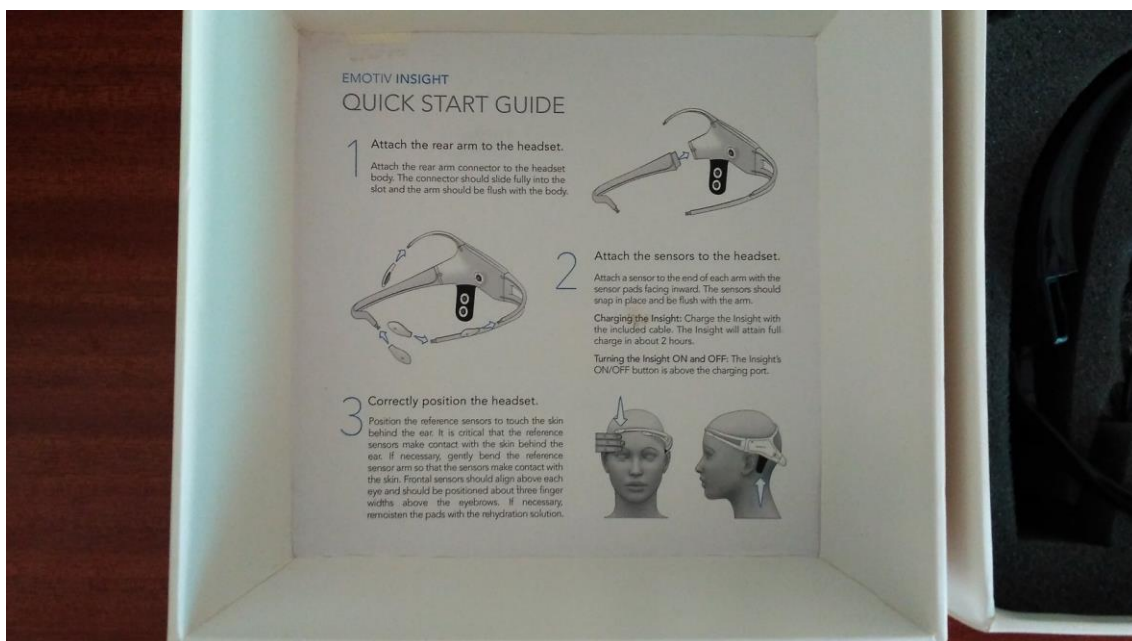


Figura 35. Instrucciones de inicio rápido bajo la tapa del empaque.

Bajo la cubierta de la caja se pueden encontrar unas instrucciones de comienzo rápido, para ensamblar el dispositivo y también información sobre su colocación en la cabeza.



Figura 36. Elementos encontrados en el empaque de la unidad de pruebas.

En esta fotografía se pueden apreciar los elementos incluidos por el fabricante. De izquierda a derecha:

1. Dispositivo Emotiv Insight
2. Receptor USB propietario (Inalámbrico, 2.4Ghz)
3. Cable de carga USB
4. Sobre de plástico para almacenaje de los sensores y piezas de recambio



Figura 37. Unidad de pruebas en detalle.

El dispositivo presenta un aspecto robusto, con un diseño elegante.

Los electrodos son extraíbles, y se permite reemplazar tanto los que se pueden extraer como los de la toma de tierra y también el sensor **T7** mediante el uso de una llave allen incluida en el paquete. La toma de tierra es la pieza que se ve en la figura anterior, bajo el cuerpo del dispositivo. Esta se coloca detrás del oído.

5.3 Software del dispositivo

A continuación, se muestran unas imágenes capturadas sobre el hardware de prueba que incluye el dispositivo.

Este software tiene el nombre de *Emotiv Xavier ControlPanel 3.3.3*.

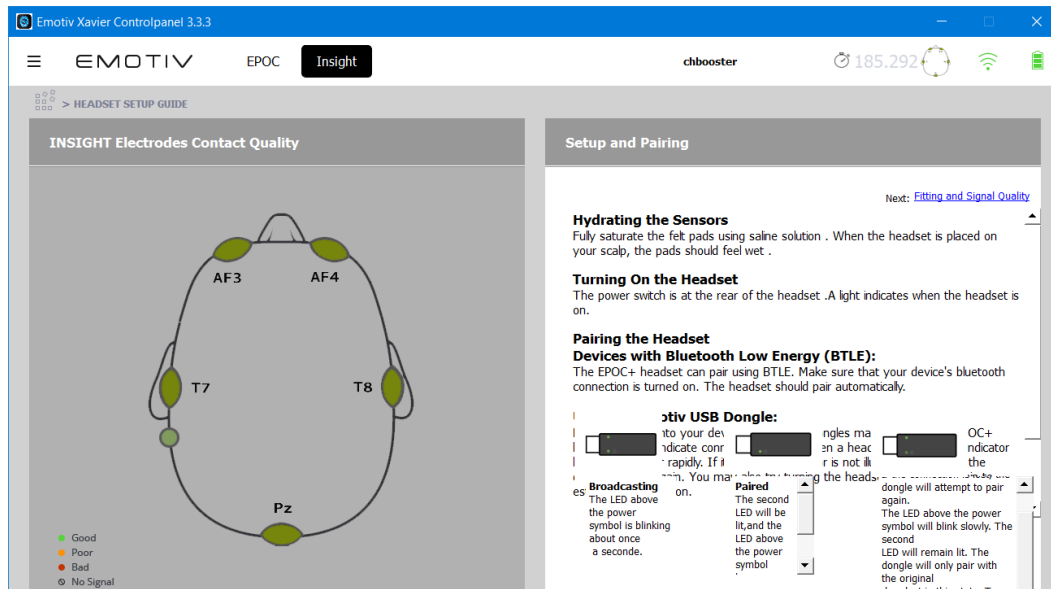


Figura 38. Pantalla de configuración del dispositivo.

En la parte izquierda de la imagen se puede apreciar una representación del estado de los sensores del dispositivo. Si los sensores muestran el color verde, estos indican que la intensidad de la señal que reciben a través del cuero cabelludo es buena.

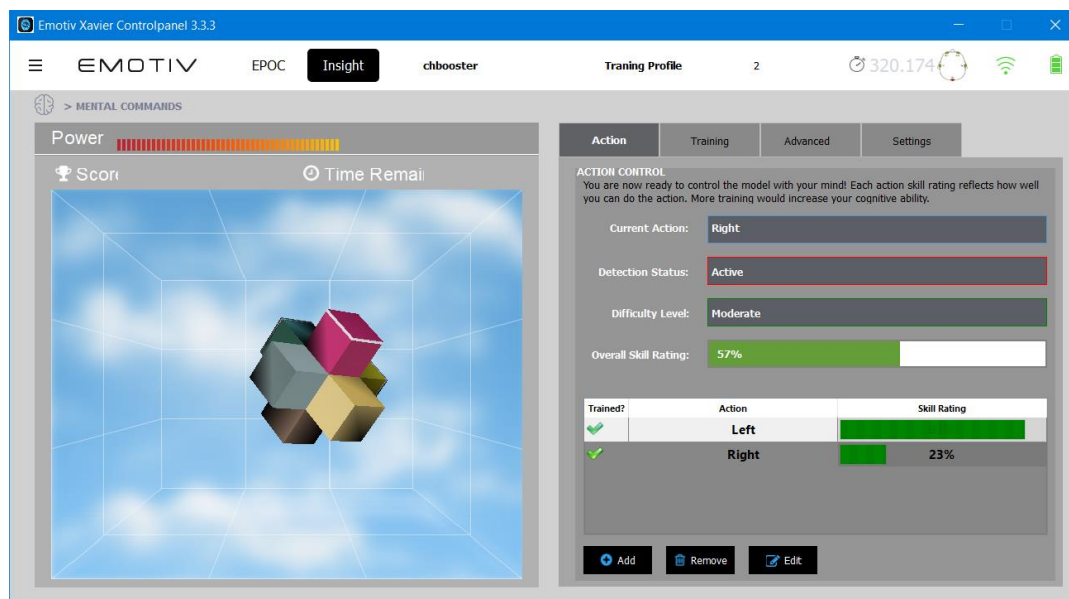


Figura 39. Pantalla de comandos mentales.

En esta pantalla se puede apreciar (en el lado izquierdo) una figura que será el objeto que se deberá intentar mover con la acción del pensamiento. En el lado derecho se encuentran los controles para entrenar las acciones que se aplicarán después a la figura.

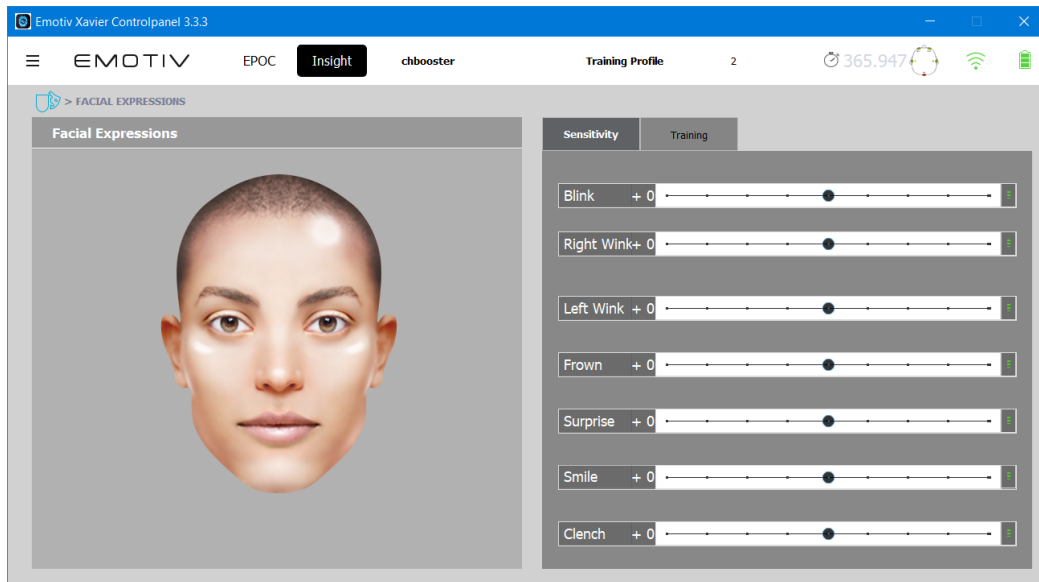


Figura 40. Pantalla de expresiones faciales.

A la izquierda se puede apreciar un rostro que será la representación facial del usuario. A la derecha se encuentran los controles necesarios para calibrar la detección facial y las opciones para entrenar dichas expresiones. Si se quiere amplificar y aislar un determinado gesto, se puede conseguir con estos controles.



Figura 41. Pantalla de métricas de emociones

Esta pantalla muestra dos gráficas las cuales contienen señales discretas que representan valores relacionados con estados emocionales tales como interés, relajación, concentración, etc.

Por defecto la gráfica superior muestra el estado de las señales en un lapso de 30 segundos mientras que la inferior lo hace en un lapso de cinco minutos.

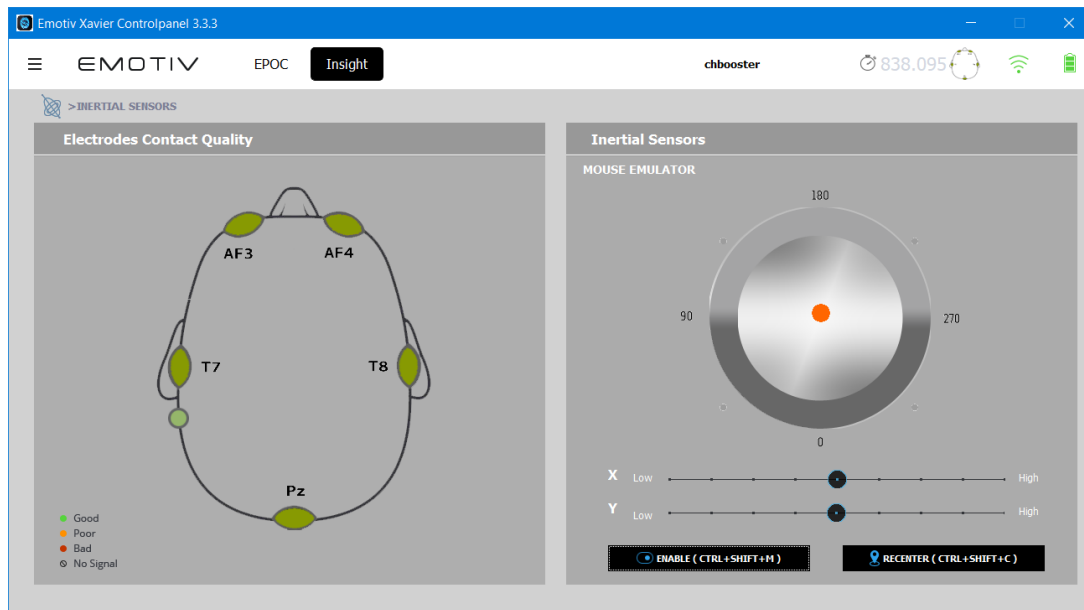


Figura 42. Pantalla del sensor inercial.

En esta pantalla se ponen a prueba los sensores de movimiento espacial, haciendo que el cursor del ratón se pueda dirigir a través de dichos sensores. De esta manera será suficiente con mover la cabeza para observar cómo se desplaza el cursor. También se muestra de nuevo el estado de los electrodos de la cabeza en la parte izquierda.

5.4 Puesta en funcionamiento

Tras realizar la instalación del software del dispositivo, concretamente Xavier Control Panel y controladores, para hacerlo funcionar, ha sido necesario realizar la carga de la batería mediante el cable USB incluido.



Figura 43. Carga de la batería del dispositivo.

Una vez el LED indicador se encuentra de color verde, se puede retirar el cable USB y ya es posible empezar a utilizarlo. Para enlazar el dispositivo con un ordenador, es necesario el receptor inalámbrico que viene incluido.



Figura 44. Receptor USB inalámbrico del dispositivo.

Una vez esté listo, al pulsar el botón Power del dispositivo, las luces del receptor quedarán como se puede apreciar en la siguiente figura. Durante el encendido, el LED de carga del dispositivo quedará apagado y se apreciará una pequeña luz blanca en la esquina superior izquierda del cuerpo del dispositivo.

Se advierte que no es posible encender ni utilizar el dispositivo mientras este se encuentra en proceso de carga debido a motivos de seguridad, ya que el dispositivo ha de ir colocado muy próximo a la cabeza y la batería podría sufrir recalentamiento.

Ahora ya es posible pulsar el botón de encendido del dispositivo, lo cual hará que se enciendan dos luces más, que indican la presencia del dispositivo y su enlace con el ordenador.

Si se lanza el software del dispositivo, este reconocerá el mismo y se podrá ver la pantalla de configuración, donde se muestra el estado de los sensores EEG.

Una vez todos los sensores se muestren en color verde se podrán utilizar con seguridad todas las funciones incluidas en el software.

5.5 Pruebas de evaluación sobre el dispositivo

Puesto que gran parte de la finalidad de este trabajo es conocer las capacidades reales de un dispositivo EEG comercial que sirva de interfaz para controlar un videojuego sin necesidad de utilizar un controlador tradicional, se hace imprescindible conocer hasta que punto dicha tecnología está desarrollada, y por ello se hace necesario un análisis de sus capacidades en el momento presente.

Se analizarán los siguientes aspectos del dispositivo:

- Precisión del conjunto software/hardware que detecta e interpreta los datos del sensor EEG
- Precisión del sensor de movimiento (giroscópico)

Según el tipo de prueba, se tomarán muestras de los siguientes tipos:

- **Tiempo:** se medirá el tiempo transcurrido desde que se comienza la prueba hasta que concluye. Se considerará concluida cuando se consiga realizar el propósito de la prueba.
- **Aciertos:** Número de veces que se consigue realizar una acción.

También se podrán utilizar estos parámetros en forma de porcentaje.

Las características físicas del sujeto que hará de usuario junto al dispositivo son las siguientes:

- **Edad:** 27 años.
- **Sexo:** Masculino.
- **Tipo de cabello:** corto.

Los eventos que serán objeto de análisis son los siguientes:

- Hardware y software relacionado con el EEG
 - Tiempo en colocar correctamente todos los electrodos a la cabeza
 - Aciertos en las Pruebas de entrenamiento
 - Comandos mentales (direcciones, ejercer presión, tirar, etc.)
 - Expresiones faciales
 - Curvas de estados emocionales
- Hardware y Software relacionado con el Giroscopio
 - Aciertos en la exactitud en el reconocimiento del movimiento espacial

5.5.1 Pruebas relativas a los sensores EEG

5.5.1.1 Tiempo en colocar correctamente todos los electrodos a la cabeza

El tiempo necesario para poner el equipo en funcionamiento es de interés, puesto que puede determinar si dicho dispositivo supone una opción viable para ser utilizado como controlador por cualquier persona en un tiempo razonable.

El factor que más peso tiene en esta prueba radica en la dificultad para que los 5 electrodos del dispositivo registren correctamente la señal a través del cuero cabelludo, ya que al mover la cabeza pueden moverse los electrodos y perderse la señal en alguno de ellos.

Características de la prueba:

- Se tomarán 5 muestras
- La prueba no finalizará hasta que todos los electrodos permanezcan en estado de señal optima (luz verde) al menos durante 15 segundos seguidos. Si se exceden los 5 minutos y todavía no se han conseguido poner todos los electrodos en estado de señal óptima durante 15 segundos, quedará reflejado en la muestra.
- Se registrarán las siguientes condiciones del entorno:
 - Hora de la prueba
 - Nivel de batería del dispositivo

Resultados:

Muestra 1:

Tiempo	1 minuto, 17 segundos
Hora de la prueba	17:55
Nivel de batería	2/3

Muestra 2:

Tiempo	2 minutos, 12 segundos
Hora de la prueba	00:18
Nivel de batería	1/3

Muestra 3:

Tiempo	3 minutos, 18 segundos
Hora de la prueba	23:51
Nivel de batería	1/3

Muestra 4:

Tiempo	2 minutos, 23 segundos
Hora de la prueba	14:37
Nivel de batería	2/3

Muestra 5:

Tiempo	2 minutos, 10 segundos
Hora de la prueba	21:48
Nivel de batería	2/3

Gráfico:



Se ha conseguido colocar el dispositivo en un tiempo máximo de 3 minutos y 18 segundos.

Con un valor mínimo de 01:17 minutos y un valor máximo de 03:18 minutos, la media aritmética es de 02:16 minutos, con un rango de 02:01 minutos y como medida de dispersión, una desviación estándar de 43 segundos.

5.5.2 Aciertos en las Pruebas de entrenamiento

En este tipo de pruebas se busca poner a prueba la fidelidad de la información obtenida a través de los sensores EEG del dispositivo. Para ello se han de registrar previamente los patrones mentales del usuario.

5.5.2.1 Comandos mentales

Esta prueba se basa en comprobar si se pueden reconocer patrones como “arriba”, “izquierda”, “presionar” o “rotar en sentido horario” entre otros. Por tanto, previamente es necesario entrenar dichas funciones.

Para poder realizar el entrenamiento, el software insta a que el usuario piense en ese concepto durante 20 segundos en unas condiciones de tranquilidad, en la sección “Training”. Una vez se ha terminado, se puede seguir entrenando este concepto o pasar a la sección “Action” donde se puede comprobar si el dispositivo responde al patrón capturado. Se puede además calibrar la sensibilidad en el reconocimiento en la sección “Advanced” o bien modificar el objeto sobre el que se pretende actuar, convirtiéndolo a objeto 2D o modificando el modelo 3D en la sección “Settings”.

Características de la prueba:

- Se tomarán 5 muestras
- La prueba durará 30 segundos en los cuales se contabilizará el número de aciertos que se obtienen en ese lapso. Para considerar un acierto, el objeto a mover debe satisfacer el concepto que se está analizando al menos durante 2 segundos.
- Como concepto se ha elegido “izquierda” (pensar en izquierda).
- Se registrarán las siguientes condiciones del entorno:
 - Hora de la prueba
 - Nivel de batería del dispositivo

Resultados:

Muestra 1:

Aciertos	0
Hora de la prueba	19:04
Nivel de batería	2/3

Muestra 2:

Aciertos	0
Hora de la prueba	19:26
Nivel de batería	1/3

Muestra 3:

Aciertos	0
Hora de la prueba	19:52
Nivel de batería	1/3

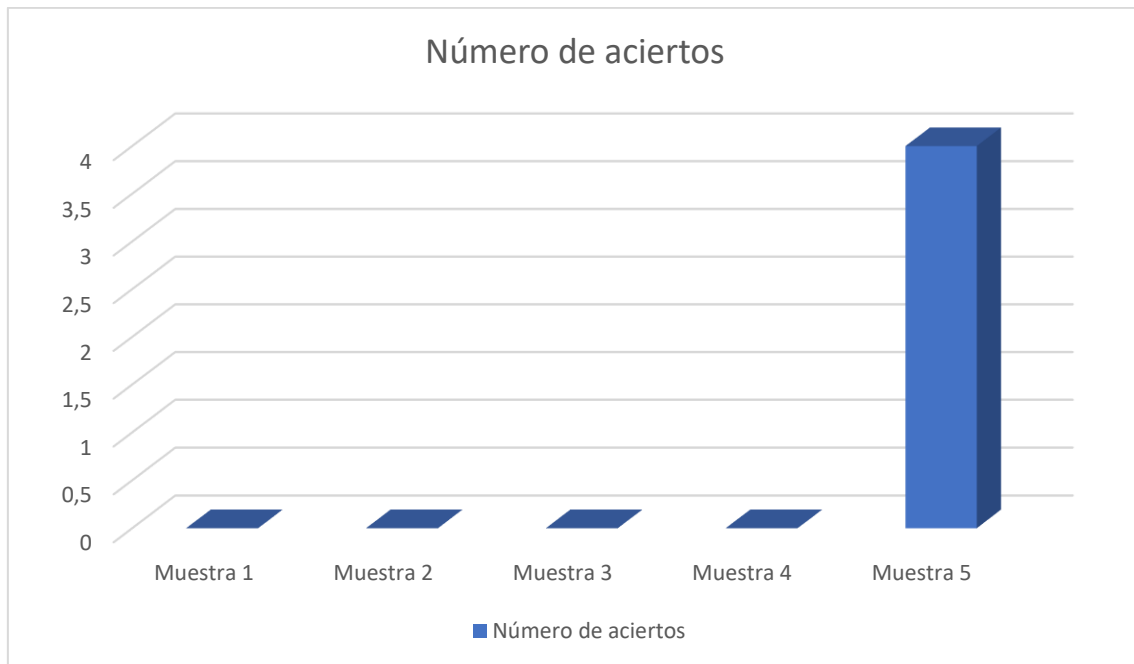
Muestra 4:

Aciertos	0
Hora de la prueba	14:35
Nivel de batería	3/3

Muestra 5:

Aciertos	4
Hora de la prueba	20:16
Nivel de batería	1/3

Gráfico:



Con un valor mínimo de 0 aciertos y un valor máximo de 4 aciertos, la media aritmética es de 0,8, con un rango de 4 y como medida de dispersión, una desviación estándar de 1,6.

Por tanto, los resultados obtenidos para esta prueba muestran un rendimiento nulo en cuanto a detección de conceptos.

5.5.2.2 Expresiones faciales

En esta prueba se quiere verificar la exactitud en la detección facial. Para ello se seleccionará un gesto fácil de realizar entre los que hay disponibles.

Características de la prueba:

- Se tomarán 5 muestras
- Se realizarán 20 repeticiones, espaciadas en intervalos de 3 segundos. Para considerar un acierto, el rostro del software deberá replicar el gesto realizado en el momento de realizar el gesto.
- La configuración de firma de control será la de tipo “Universal”.
- Gesto que se realizará para la prueba: Guiño de ojo derecho.
- Se registrarán las siguientes condiciones del entorno:
 - Hora de la prueba
 - Nivel de batería del dispositivo

Resultados:

Muestra 1:

Aciertos	20 / 20
Hora de la prueba	20:39
Nivel de batería	3/3

Muestra 2:

Aciertos	19 / 20
Hora de la prueba	20:55
Nivel de batería	3/3

Muestra 3:

Aciertos	18 / 20
Hora de la prueba	21:20
Nivel de batería	3/3

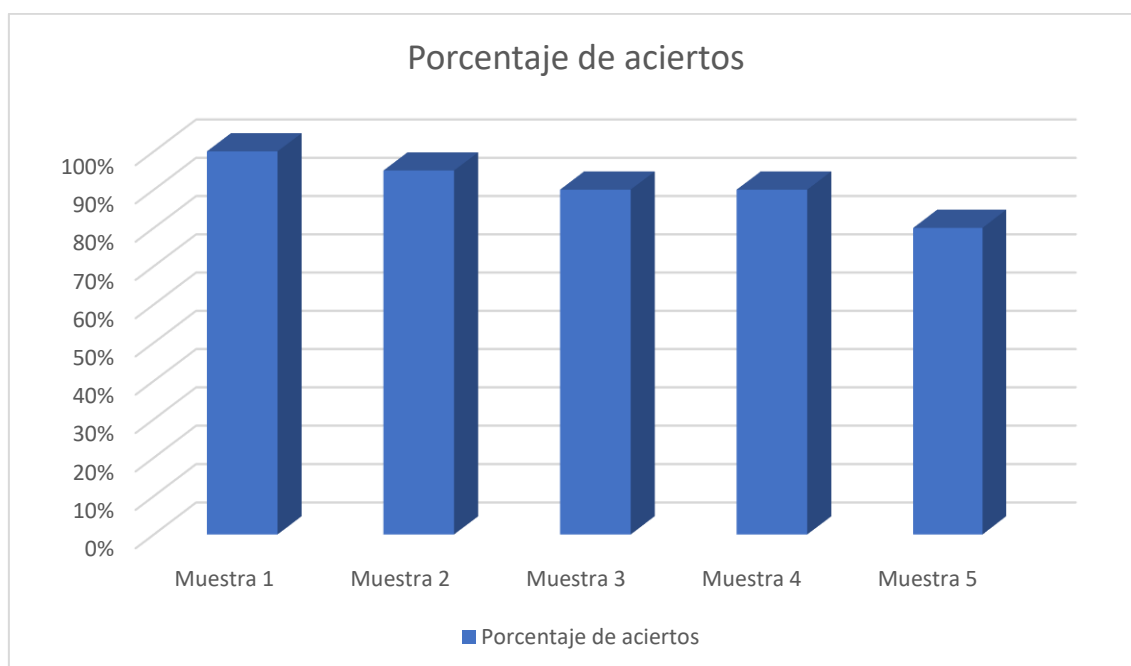
Muestra 4:

Aciertos	18 / 20
Hora de la prueba	22:32
Nivel de batería	3/3

Muestra 5:

Aciertos	16 / 20
Hora de la prueba	22:43
Nivel de batería	3/3

Gráfico:



Se ha conseguido una media de aciertos que se sitúa por encima del 90% para esta prueba.

Con un valor mínimo del 80% y un valor máximo del 100%, la media aritmética es del 91%, con un rango del 20% y como medida de dispersión, una desviación estándar del 6.6%.

5.5.2.3 Curvas de estados emocionales

Esta prueba se basa en verificar si las curvas de estado emocional son fieles a las emociones que el usuario experimenta en el momento de la evaluación.

Características de la prueba:

- Se tomarán 5 muestras
- La prueba durará 60 segundos. Se contabilizará el tiempo que transcurre desde que el estado que se está analizando está por encima del 60% de su valor después de que la prueba haya comenzado estando este valor por debajo de 20% con respecto al tiempo total. Al final, se reflejará el porcentaje del tiempo considerado como positivo respecto al tiempo total de la prueba.
- El estado emocional con el que se realizará la prueba es el de “relajación”.
- Se registrarán las siguientes condiciones del entorno:
 - Hora de la prueba
 - Nivel de batería del dispositivo

Resultados:

Muestra 1:

Tiempo	0 segundos
Hora de la prueba	12:37
Nivel de batería	2/3

Muestra 2:

Tiempo	3 segundos
Hora de la prueba	12:52
Nivel de batería	2/3

Muestra 3:

Tiempo	0 segundos
Hora de la prueba	14:13
Nivel de batería	1/3

Muestra 4:

Tiempo	0 segundos
Hora de la prueba	15:25
Nivel de batería	3/3

Muestra 5:

Tiempo	8 segundos
Hora de la prueba	15:34
Nivel de batería	2/3

Gráfico:



El tiempo máximo en el que se ha verificado la condición expresada en la prueba ha sido de 8 segundos, lapso que supone el 13% del tiempo total. Otras muestras no han obtenido ninguna respuesta positiva.

Sumando el tiempo de todas las muestras, el porcentaje de tiempo total en el que la condición se ha satisfecho ha sido del 3.6% (2.1 segundos) sobre el total de tiempo (60 segundos).

5.5.3 Pruebas relativas al sensor giroscópico

5.5.3.1 Aciertos en la exactitud en el reconocimiento del movimiento espacial

Esta prueba consiste en verificar que los sensores de movimiento espacial funcionan correctamente. Puesto que dicha prueba reduce su nivel de ambigüedad al tratarse de un hardware que no es experimental y que los sensores EEG no son necesarios ahora, no se requerirá registrar tantas condiciones del entorno.

Características de la prueba:

- Se tomarán 3 muestras
- Para cada muestra, se deberá desplazar el cursor con el sensor inercial realizando la siguiente secuencia:
 - Esquina superior izquierda
 - Esquina superior derecha
 - Esquina inferior izquierda
 - Esquina superior izquierda
 - Esquina inferior derecha

Se considerará un acierto si se es capaz de desplazar el cursor hasta la posición indicada. Finalmente se reflejará el porcentaje de aciertos.

- Se registrarán las siguientes condiciones del entorno:
 - Nivel de batería del dispositivo

Resultados:

Muestra 1:

% Aciertos	100%
Nivel de batería	3/3

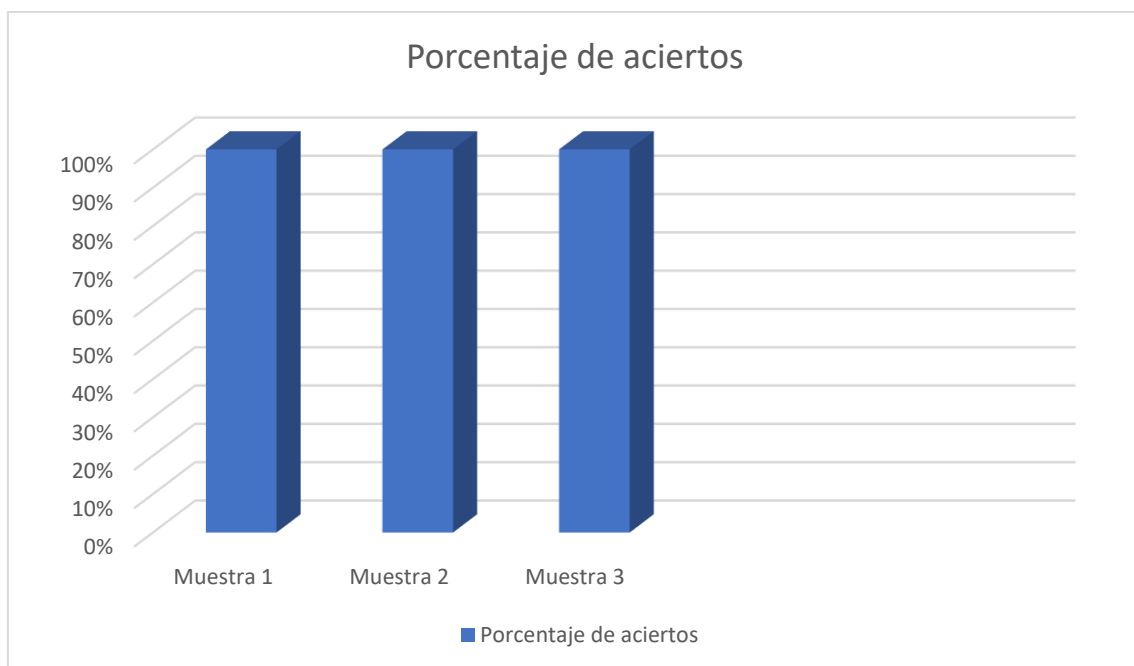
Muestra 2:

% Aciertos	100%
Nivel de batería	2/3

Muestra 3:

% Aciertos	100%
Nivel de batería	2/3

Gráfico:



En esta prueba se ha obtenido la totalidad de los aciertos planteados.

5.6 Prueba de uso del SDK del dispositivo

Parece también de gran interés realizar una sencilla prueba de uso del Kit de desarrollo que proporciona el fabricante del casco para conocer la dificultad que puede albergar el poner en funcionamiento y hacer uso del dispositivo en un contexto de desarrollo propio.

Para ello, se accede a la dirección web:

<https://github.com/Emotiv/community-sdk/releases>

Desde esa dirección se pueden obtener los datos necesarios para acceder al repositorio donde se albergan los ficheros necesarios para hacer uso del SDK de Emotiv.

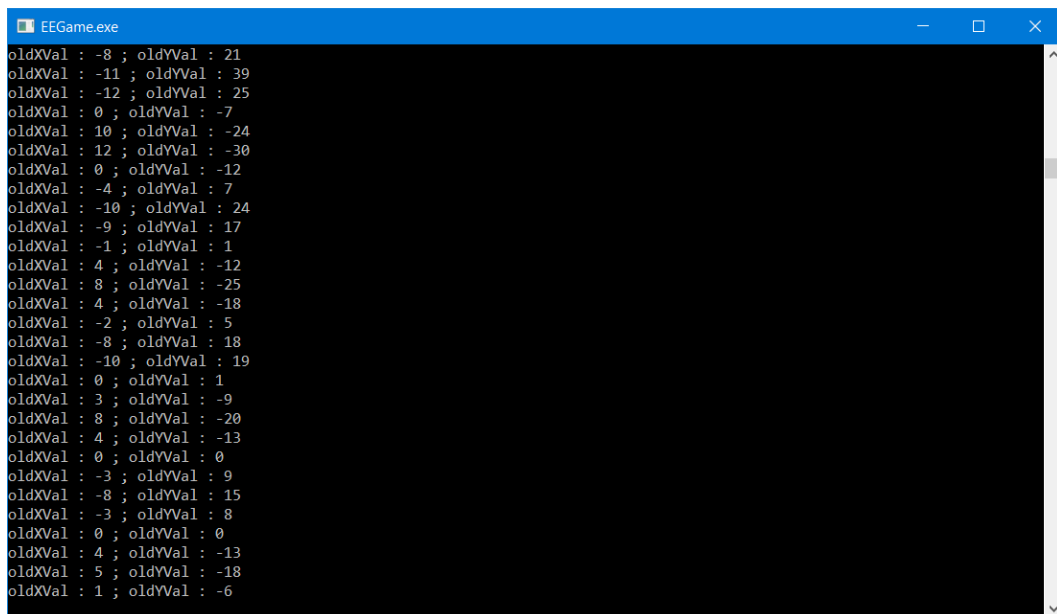
Una vez clonados todos los ficheros y comprobando que se cuenta con todas las dependencias, se procede a crear un proyecto nuevo en el lenguaje de programación C++.

Puesto que se pretende realizar una prueba sencilla, el objetivo que se persigue en este caso es conseguir hacer uso de los datos proporcionados por los sensores inerciales del dispositivo, en concreto el giroscopio.

Haciendo uso de la ayuda proporcionada por el fabricante y revisando algunos ejemplos de código fuente, se consigue escribir un código que permite situar un rectángulo negro en una ventana y dirigir a este por medio del movimiento realizado con la cabeza.



Figura 45. Aplicación de prueba propia sobre el sensor inercial del casco EEG.



```
EEGame.exe
oldXVal : -8 ; oldYVal : 21
oldXVal : -11 ; oldYVal : 39
oldXVal : -12 ; oldYVal : 25
oldXVal : 0 ; oldYVal : -7
oldXVal : 10 ; oldYVal : -24
oldXVal : 12 ; oldYVal : -30
oldXVal : 0 ; oldYVal : -12
oldXVal : -4 ; oldYVal : 7
oldXVal : -10 ; oldYVal : 24
oldXVal : -9 ; oldYVal : 17
oldXVal : -1 ; oldYVal : 1
oldXVal : 4 ; oldYVal : -12
oldXVal : 8 ; oldYVal : -25
oldXVal : 4 ; oldYVal : -18
oldXVal : -2 ; oldYVal : 5
oldXVal : -8 ; oldYVal : 18
oldXVal : -10 ; oldYVal : 19
oldXVal : 0 ; oldYVal : 1
oldXVal : 3 ; oldYVal : -9
oldXVal : 8 ; oldYVal : -20
oldXVal : 4 ; oldYVal : -13
oldXVal : 0 ; oldYVal : 0
oldXVal : -3 ; oldYVal : 9
oldXVal : -8 ; oldYVal : 15
oldXVal : -3 ; oldYVal : 8
oldXVal : 0 ; oldYVal : 0
oldXVal : 4 ; oldYVal : -13
oldXVal : 5 ; oldYVal : -18
oldXVal : 1 ; oldYVal : -6
```

Figura 46. Consola de la Aplicación de prueba propia sobre el sensor inercial del casco EE

5.7 Resultados de las pruebas realizadas al dispositivo

En base a las pruebas realizadas y a los resultados registrados, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El tiempo de colocación del casco es aceptable y no debería suponer un problema en la mayoría de situaciones, no obstante, cabe destacar que el sensor **Pz** (el de la parte anterior de la cabeza) suele complicar la colocación generalmente.
- La detección de los comandos mentales no funciona como debería, dando falsos positivos o no respondiendo en absoluto al pensamiento, haciendo de este un recurso no fiable.
- La detección de expresiones faciales funciona correctamente en la mayoría de ocasiones, haciéndolo un recurso fiable.
- La monitorización de las curvas de estado emocionales ha dado como resultado una detección fallida de las emociones por parte del dispositivo, haciendo de estas un recurso no fiable.
- La detección del movimiento capturado por el sensor giroscópico del dispositivo ha dado como resultado una detección perfecta en referencia a lo exigido en la prueba, haciendo de este un recurso plenamente fiable.
- La prueba de uso del SDK del dispositivo ha demostrado que es posible desarrollar software que pueda utilizar el dispositivo y en concreto, el sensor giroscópico del mismo.

5.8 Análisis de mecánicas aplicables a un videojuego controlado mediante BCI

Los videojuegos siempre han mantenido una coherente relación entre sus mecánicas y los controladores disponibles para los mismos.

Un *D-pad*, por ejemplo, permite 4 grados de libertad, que son las direcciones arriba, abajo, izquierda y derecha. Así mismo, cuando hablamos de un dispositivo BCI como lo es un casco EEG, debemos ser conscientes de los grados de libertad de los que se dispone.

Aunque en teoría resulta relativamente sencillo conocer los grados de libertad disponibles en un dispositivo así, finalmente este no está carente de complejidad, ya que en este caso el grado de fiabilidad en la obtención de los datos por parte del dispositivo comprometerán estos grados de libertad finales.

Por tanto, surge la necesidad de simplificar las mecánicas que se pueden aplicar a un videojuego adaptado a estas características.

Se parte de un supuesto en el que disponemos de un casco EEG que nos aporta los siguientes comandos mentales: “Arriba”, “Abajo”, “Izquierda” y “Derecha”, que estos comandos son de naturaleza binaria y que estos comandos tienen buena fiabilidad.

En este caso, tendríamos los mismos grados de libertad que se tienen con un *D-pad*. Por tanto, se podría realizar un juego en el que solo fueran necesarios cuatro grados de libertad en sus mecánicas.

Por otra parte, si los comandos no fueran de naturaleza binaria si no discreta, podrían ser utilizados como rangos, en donde “pensar más o menos” en el comando pudiera establecer por ejemplo un factor de aceleración aplicado a un coche dentro del videojuego y que otros comandos fueran el factor de giro del mismo.

En este caso, se entiende como una ventaja con respecto a una señal binaria debido a sus grados de libertad, pero claramente se puede esperar un margen de error mayor, puesto que puede ser más complejo interpretar una señal continua que una binaria, ya que esta última puede ser filtrada más fácilmente.

Será por tanto necesario estudiar bien la naturaleza de las mecánicas que se utilizarán, y por supuesto serán dependientes de las posibilidades que ofrezca el dispositivo EEG así como la fiabilidad de las mismas.

6 Conclusiones y trabajos futuros

Se presentan a continuación las conclusiones obtenidas de este trabajo, realizando una revisión de objetivos, así como los trabajos que se pueden plantear tras la finalización de este trabajo.

6.1 Revisión de los objetivos

En este apartado se hace una revisión de los objetivos planteados inicialmente para comprobar el grado de consecución de los mismos.

- La revisión de los hitos más relevantes en la innovación de controladores para videojuegos hizo que se pudiera establecer una reflexión sobre funcionalidad y complejidad en controladores, así como servir de motivación adicional para conseguir el resto de objetivos establecidos.
- Se realizó un pequeño estudio sobre los diferentes cascos EEG comerciales que había en el mercado y se seleccionó el que satisfacía los requisitos económicos y tecnológicos que existían.
- Se adquirió el dispositivo y sobre este se realizaron las pruebas necesarias para determinar si este podría ser útil para ser usado como controlador para videojuegos.

6.2 Conclusiones

El campo de la encefalografía a nivel comercial está todavía comenzando. Existen dispositivos en todos los rangos de precios, y se espera que su precisión vaya acorde a esto último. No obstante, muchos de los dispositivos no llegan a las cotas de calidad que se espera de ellos. El dispositivo analizado en el presente trabajo posee debilidades críticas y algunas fortalezas, siendo las primeras las relativas a la encefalografía.

Este dispositivo no podría ser considerado para ser utilizado como dispositivo EEG fiable si la pretensión del usuario o investigador es da de hacer uso de las ondas cerebrales, ya que queda demostrado que su fiabilidad es insuficiente para tal fin.

Sin embargo, entre sus fortalezas está el sensor giroscópico que posee el dispositivo, que proporciona un control basado en cuatro grados de libertad ($\pm X$, $\pm Y$) que pueden ser ejecutados sin la necesidad de mover nada más que la cabeza.

Además, también se ha podido demostrar que la detección de expresiones faciales puede suponer otra vía de control, ya que incluso suponiendo que solo hagamos uso de un

gesto facial, añadiríamos otro control de naturaleza binaria, otorgando otro grado de libertad.

Por tanto, a nivel de ejemplo, con este conjunto se podría utilizar el dispositivo como controlador señalador y con ello situar un puntero en pantalla. El único requisito que se exigiría del usuario sería poder mover levemente la cabeza y realizar un gesto facial tal como parpadear. Se podrían considerar otras muchas opciones, por supuesto.

Finalmente podemos atestiguar que, aunque parte de las funciones que se requerían del dispositivo no han podido ser validadas, otras sí que pueden aportar valor como objeto de estudio y con ello, experimentar con nuevas formas de control para videojuegos adaptados.

6.3 Trabajos futuros

En base a los resultados obtenidos con las pruebas realizadas y a las conclusiones en el presente trabajo, podría considerarse el uso del casco EEG con el que se ha experimentado para su uso en proyectos donde se desee experimentar con interfaces basadas en el uso de giroscopios.

También se podría juntar este con la detección de gestos faciales y construir un controlador que pueda satisfacer la necesidad de un determinado usuario.

Se pretende también que la revisión de los hitos en la historia de los controladores para videojuegos, así como los trabajos previos de los estudiantes de Ingeniería Multimedia sirvan de inspiración para los ingenieros que buscan experimentar con nuevas formas de interactuar, derribando la omnipresente idea de que todo está ya inventado y no hay mucho más que aportar.

7 Recursos

Los recursos utilizados en el presente trabajo han sido extraídos de diferentes fuentes, siempre haciendo uso de licencias de tipo Creative Commons (CC), de dominio público o bien de elaboración propia.

Fuentes de las imágenes de terceros incluidas en el documento:

- www.the-liberator.net (Apple II Joystick)
- commons.wikimedia.org (Atari Joystick, EEG Acquisition, EEG Hospital, Spike Waves, Alpha, Beta, Theta, Gamma, Delta, Raw, SMR signals, EyeToy, Invensense MPU-6050, NES Controller, PowerPad, Zapper, Nintendo 64 controller, Nintendo DS, Phillips Hand Controller, Vibration Motors, Volante de videojuegos, Wii sensor bar)
- www.flickr.com (EEG Brain Scan, Kinect, Tennis for Two)
- www.arcade-museum.com (Volante arcade)
- hdl.handle.net/10045/40272 (Footb-all)
- hdl.handle.net/10045/49408 (Formula Chair)
- hdl.handle.net/10045/58492 (Fisio Run)

8 Bibliografía y referencias

- Bupa. (5 de Abril de 2016). *Bupasalud*. Obtenido de <https://www.bupasalud.com/salud-bienestar/vida-bupa/par%c3%a1lisis-cerebral>
- Cruz Roja. (18 de Marzo de 2016). *Cruz Roja*. Obtenido de http://www.cruzroja.es/portal/page?_pageid=418,12398047&_dad=portal30&_schema=PORTAL30
- Electroencefalografía. (16 de 10 de 2016). *Wikipedia, La enciclopedia Libre*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Electroencefalograf%C3%ADa>
- Europa Press. (10 de 09 de 2013). *Infosalus*. Obtenido de <http://www.infosalus.com/actualidad/noticia-electroencefalograma-permite-acortar-diagnostico-muerte-cerebral-20130910163148.html>
- Font Puig, A. (Septiembre de 2015). Proyecto Formula Chair. *Proyecto Final de Grado*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/49408>
- Gómez Davó, R. (Septiembre de 2014). Videojuego adaptado para personas con parálisis cerebral. *proyecto Final de Grado*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/40272>
- Grupo de Ingeniería Biomédica UV. (03 de 2012). *Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento*. Obtenido de http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo
- Gunpei Yokoi. (25 de 11 de 2016). *Wikipedia, La enciclopedia Libre*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gunpei_Yokoi
- Interfaz cerebro-computadora. (8 de 4 de 2017). *Wikipedia, La enciclopedia Libre*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz_cerebro-computadora
- Lu, W. (2003). *Stanford University*. Obtenido de <http://web.stanford.edu/group/htgg/cgi-bin/drupal/?q=node/843>
- Martinbaraink. (4 de 12 de 2010). *Neoteo*. Obtenido de <http://www.neoteo.com/la-historia-del-joystick-parte-1>
- Martínez Martínez, A. (Octubre de 2016). Fisio Run: Videojuego adaptado para personas con parálisis cerebral. *proyecto Final de Grado*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/58492>

- Minguez, J. (s.f.). *Tecnología de Interfaz Cerebro - Computador*. Obtenido de http://webdiis.unizar.es/~jminguez/Sesion001_UJI.pdf
- Molina, R., Satorre, R., Villagrà, C., & Compañ, P. (13 de Julio de 2017). Training socially responsible engineers by developing accessible video games. *Cátedra Santander - UA, Transformación Digital*. doi:10.1007/978-3-319-58515-4 15
- Nintendo Zapper. (5 de 12 de 2015). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Nintendo_Zapper
- OMS. (2011). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/
- Power Pad. (29 de 12 de 2016). *Wikipedia, La Enciclopedia Libre*. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Power_Pad
- Purves, D. e. (2008). *Neurociencia*. Buenos Aires - Bogotá - Caracas - Madrid - México - Sao Paulo: PANAMERICANA.
- Super Scope. (20 de 12 de 2016). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Super_Scope
- Volante (videojuegos). (4 de 12 de 2016). *Wikipedia, La Enciclopedia Libre*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Volante_\(videojuegos\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Volante_(videojuegos))

